

O uso da cortiça na construção sustentável

FÁBIO NESTOR ADÃO BATISTA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

The true sign of intelligence is not knowledge but imagination

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para esta etapa tão importante na minha vida.

Um grande obrigado à Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho pela sua simpatia, tempo e dedicação despendidos durante a realização desta dissertação. Os seus conselhos e incentivo constante foram fulcrais para a concretização deste estudo.

Também não posso deixar de referir a minha família, obrigado por todo o carinho e atenção recebido ao longo deste percurso que é a vida. Em especial aos meus pais, que sempre me educaram e apoiaram em todas as minhas escolhas e decisões, o que me fez crescer e tornar na pessoa que sou.

Aos meus companheiros de estudo, obrigado por todas as horas passadas a decodificar os conteúdos mais complicados das diversas disciplinas lecionadas no curso de engenharia civil, assim como todos os momentos de lazer e convívio proporcionados.

Aos meus amigos mais chegados, obrigado por serem aquelas pessoas especiais que sempre estiveram disponíveis nos bons e maus momentos, que sempre me ajudaram quando mais precisei, todos os dias e a qualquer hora.

RESUMO

A constante evolução da sociedade traduz-se num aumento do consumo de recursos do planeta. Grande parte desses recursos são utilizados pelo sector da construção, o que o torna numa das áreas responsáveis por um grande impacto ambiental ligados a elevados consumos de recursos e de energia. Com o aumento desses consumos energéticos e emissões de gases poluentes com repercussões na atmosfera e ecossistemas, foram criadas leis e regras, com o intuito de combater a destruição do planeta. Tornou-se imperativa a preservação do ambiente, adotando materiais de construção mais sustentáveis, com valores de energia incorporada e emissões poluentes inferiores, diminuindo assim o impacto no meio ambiente.

Este estudo aborda a cortiça, as suas características e produtos, demonstrando ser um material viável na construção, com inúmeras aplicações associadas a este sector. Serão mencionados conceitos gerais de sustentabilidade, assim como mais especificamente construção sustentável, enquadrando a cortiça neste tipo de construção. Dada a importância da escolha de materiais, produtos e tecnologias construtivas adequadas, também serão referidas metodologias criadas para facilitar essa tarefa, como o caso da Avaliação do Ciclo de Vida, que consiste numa avaliação das diversas fases do ciclo de vida de um material ou produto, permitindo o cálculo de valores de consumos de energia, emissões de gases poluentes e produção de resíduos. Serão analisadas soluções construtivas contendo a cortiça, comparando valores obtidos para soluções que recorrem a outro material com a mesma função. São esperados valores de cálculo genéricos, que apoiem a viabilidade ambiental da cortiça e demonstrem que se enquadra perfeitamente no futuro da construção, numa construção equilibrada e sustentável.

Palavras-chave: Cortiça, Sustentabilidade, Construção sustentável, Avaliação do Ciclo de Vida.

ABSTRACT

The constant evolution of society translates into an increase in the consumption of resources of the planet. Most of these resources are used by the construction sector, making it one of the areas responsible for a major environmental impact linked to high energy and resource consumption. With the increase of these energy consumptions and emissions of pollutant gases with repercussions on the atmosphere and ecosystems, laws and rules have been created in order to combat the destruction of the planet. It has become imperative to preserve the environment by adopting more sustainable building materials with incorporated energy values and lower pollutant emissions, thus reducing the impact on the environment.

This study deals with cork, its characteristics and products, proving to be a viable material in construction, with numerous applications associated with this sector. General concepts of sustainability will be mentioned, as well as more specifically sustainable construction, framing the cork in this type of construction. Given the importance of choosing suitable materials, products and constructive technologies, methodologies designed to facilitate this task will also be referred to, such as Life Cycle Assessment, which consists of an assessment of the various phases of the life cycle of a material or product, allowing the calculation of values of energy consumption, emissions of polluting gases and production of waste. We will analyze constructive solutions containing the cork, comparing values obtained for solutions that use another material with the same function. Generic calculation values are expected to support the environmental viability of cork and demonstrate that it fits perfectly into the future of construction, in a balanced and sustainable construction.

Keywords: Cork, Sustainability, Sustainable Building, Life Cycle Assessment

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estrutura.....	1
2. A CORTIÇA	3
2.1 Introdução	3
2.2 Características	5
2.3 Portugal na produção e Indústria de cortiça	6
2.4 A Cortiça como matéria-prima	8
2.5 Produtos em Cortiça na construção.....	8
2.5.1 Granulados e triturados.....	10
2.5.2 Aglomerado expandido de cortiça e regranulado	11
2.5.3 Aglomerados compostos diversos	13
2.5.4 Aglomerado de cortiça com borracha	14
2.5.5 Linóleo	15
2.5.6 Produtos de cortiça em associação com outros materiais.....	15
2.6 Soluções Em Cortiça	16
3. SUSTENTABILIDADE	19
3.1 Introdução	19
3.2 Construção sustentável	22
3.2.1 Viabilidade da cortiça na construção sustentável	29
3.2.2 Reutilização e Reciclabilidade da Cortiça	28
3.4 Estudo do ciclo de vida	29
3.4.1 Vida útil e durabilidade	29
3.4.2 Avaliação do ciclo de vida	30
3.4.2.1 Etapas para a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida	34
3.4.2.2 Ciclo de vida da cortiça	35

4. ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS (APLICAÇÃO DA ACV).....	39
4.1 Introdução	39
4.2 Exposição dos casos práticos.....	39
4.2.1 Função de isolamento térmico	39
4.2.1.1 Características dos casos A e B	41
4.2.1.2 Avaliação económica dos casos A e B	41
4.2.2 Função de isolamento acústico.....	42
4.2.2.1 Características dos casos C e D	43
4.2.2.2 Avaliação económica dos casos C e D.....	44
4.3 Avaliação do ciclo de vida	44
4.3.1 Categorias de impacte ambiental.....	44
4.3.2 Indicadores de impacte ambiental	45
4.3.3 Princípios adotados para a quantificação dos Impactes de ciclo de Vida	46
4.3.4 Quantificação dos impactes ambientais dos casos práticos.....	46
4.3.4.1 Quantificação dos impactes ambientais das soluções com função de isolamento térmico (caso A e B).....	47
4.3.4.2 Quantificação dos impactes ambientais das soluções com função de isolamento Acústico (caso C e D)	48
4.3.5 Comparação dos resultados obtidos.....	48
4.3.5.1 Caso A e B (Isolamento térmico)	48
4.3.5.2 Caso C e D (Isolamento Acústico)	52
4.3.6 Conclusões dos resultados obtidos	56
5. CONCLUSÕES	57
5.1 Considerações Gerais	57
5.2 Desenvolvimentos futuros.....	58
Referências Bibliográficas.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sobreiro descortçado [1]	3
Figura 2 - Estrutura macroscópica da cortiça [2]	4
Figura 3 - Estrutura microscópica da cortiça [2].....	4
Figura 4 - Evolução do número de empresas da indústria da cortiça [5].....	7
Figura 5 - Descortiçamento manual [7]	8
Figura 6 - Cortiça Virgem [7]	8
Figura 7 - Estrutura das vendas (Exportações) de cortiça por tipo de produtos em valor (2014) [5]	9
Figura 8 - Granulado de cortiça [8].....	10
Figura 9 - Placas de aglomerado expandido de cortiça [9].....	12
Figura 10 - Aglomerado composto de cortiça	13
Figura 11 - Aglomerado de cortiça com borracha em rolo [11].....	14
Figura 13 - Linóleo datado da década de 1950 [12]	15
Figura 12 - Secção transversal de uma placa de linóleo [13]	15
Figura 14 - Constituição de um painel de piso flutuante em cortiça [4]	15
Figura 15 - Esquema exemplificativo da aplicação de cortiça numa habitação [4]	17
Figura 16 - Cobertura inclinada com subtelha [15]	18
Figura 17 - Pavimento com enchimento da caixa de soalho [16]	18
Figura 18 - Triângulo da Sustentabilidade [19]	21
Figura 19 - Hotel <i>Parkroyal</i> em Singapura [23].....	24
Figura 20 - Propriedades a considerar no projeto de uma construção sustentável [21]	24
Figura 21 - Exemplo da aplicação da variante Cradle-to-grave [26].....	32
Figura 22 - Exemplo da aplicação da variante Cradle-to-gate [26].....	33
Figura 23 - Exemplo da aplicação da variante Cradle-to-cradle [26].....	33
Figura 24 - Fases de implementação da Avaliação do Ciclo de Vida [27].....	35
Figura 25 - Ciclo de vida genérico de produtos derivados da cortiça [2]	36
Figura 26 - Esquema de processos usados na produção de produtos de cortiça para a construção [6].....	37
Figura 27 - Esquema 3D da parede dupla do caso A (solução com cortiça)	40
Figura 28 - Esquema 3D da parede dupla do caso B (solução alternativa)	40
Figura 29 - Esquema 3D da parede dupla do caso C (solução com cortiça)	42
Figura 30 - Esquema 3D da parede dupla do caso D (solução alternativa)	43
Figura 31 - Valores obtidos para a Energia Não Renovável (Caso A e B)	49

Figura 32 - Valores obtidos para a Energia Renovável (Caso A e B).....	49
Figura 33 - Valores obtidos para o impacte de Alterações Climáticas (Caso A e B).....	50
Figura 34 - Valores obtidos para Potencial de formação de ozono troposférico (Caso A e B) ..	50
Figura 35 - Valores obtidos para Potencial de destruição da camada de ozono (Caso A e B) ..	51
Figura 36 - Valores obtidos para Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), Potencial de acidificação (AP) e Potencial de eutrofização (EP) (Caso A e B)	52
Figura 37 - Valores obtidos para a Energia Não Renovável (Caso C e D)	53
Figura 38 - Valores obtidos para a Energia Renovável (Caso C e D)	53
Figura 39 - Valores obtidos para o impacte de Alterações Climáticas (Caso C e D)	54
Figura 40 - Valores obtidos para Potencial de formação de ozono troposférico (Caso C e D) ...	54
Figura 41 - Valores obtidos para Potencial de destruição da camada de ozono (Caso C e D) .	55
Figura 42 - Valores obtidos para Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), Potencial de acidificação (AP) e Potencial de eutrofização (EP) (Caso C e D).....	55

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Composição química da cortiça [3].....	5
Quadro 2 - Área de montado de sobre [5]	6
Quadro 3 - Produção de Cortiça por País [5]	7
Quadro 4 – Características dos granulados de cortiça [6]	10
Quadro 5 – Aplicações da cortiça ligadas à área da construção [14]	16
Quadro 6 – Os sete princípios da construção sustentável [2] [21]	23
Quadro 7 – Quantidade de água utilizada na produção de materiais de construção [2]	26
Quadro 8 – Valores mínimos para a durabilidade a produtos e componentes da construção [26].....	30
Quadro 9 – Vida útil de projeto requerida a alguns elementos de construção [26]	30
Quadro 10 – Características do caso A e caso B [29]	41
Quadro 11 – Características do caso C e caso D [29]	43
Quadro 12 – Categorias de impacte ambiental utilizadas neste estudo [26]	45
Quadro 13 – Indicadores de impactes ambientais por categoria associados à produção de 1kg de material, adaptado de [27]	46
Quadro 14 – Conversão da massa volúmica dos materiais utilizados na unidade funcional [26][33][35][36][37]	47
Quadro 15 – Quantificação das categorias de impacte ambiental por m ² de material na fase <i>cradle-to-gate</i> (Caso A e B)	47
Quadro 16 – Quantificação das categorias de impacte ambiental por m ² de material na fase <i>cradle-to-gate</i> (Caso C e D)	48
Quadro 17 – Quadro resumo dos valores de impactes ambientais dos casos e materiais de isolamento em estudo.....	56

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Desde a pré-história que o ser humano sentiu a necessidade de criar abrigos, protegendo-se assim dos fenómenos climáticos do planeta. Ao longo de séculos procurou otimizar as suas construções, recorrendo a diversos materiais e utilizando novas técnicas construtivas. O crescimento populacional também contribuiu para a exploração excessiva de recursos naturais, tentando responder à satisfação das necessidades que se demonstraram cada vez mais exigentes.

Como o sector da construção se mantém como uma das atividades que mais contribui para a degradação do ambiente, a sociedade corrente criou medidas e políticas ambientais, assim como um apoio crescente na escolha de materiais provenientes de matérias-primas renováveis ou que causem baixos impactes ambientais na Terra. A adequação da escolha de materiais, produtos e tecnologias construtivas podem fazer a diferença para minimizar o aspeto negativo da construção nos ecossistemas, sendo cada vez mais importante a realização de estudos que facilitem essa escolha, como o caso da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida. A cortiça é um material natural e renovável, com elevado contributo para a redução de gases de efeito de estufa, o que o torna uma mais-valia na aplicação de uma construção sustentável e ecoeficiente.

1.2 OBJETIVOS

É pretendida a realização de um estudo dos produtos em material de cortiça ou com a sua incorporação, mais precisamente nas suas utilizações na área da construção civil e reabilitação. Serão analisadas as suas propriedades e viabilidade em relação a outros materiais designados para as mesmas funções como isolamento térmico e isolamento acústico. Tendo em conta os atuais problemas ambientais, devemos preservar o nosso planeta optando por uma construção sustentável. Para esse efeito, os produtos de cortiça também serão avaliados ecológica e economicamente, realizando um breve estudo de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida avaliando os impactes que a aplicação da cortiça demonstra no sector da construção civil.

1.3 ESTRUTURA

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, em que o primeiro corresponde a uma parte introdutória do tema escolhido e de exposição de objetivos assim como a estrutura e organização da dissertação.

No segundo capítulo serão abordadas as características e propriedades da cortiça, assim como soluções disponíveis no mercado recorrendo à sua utilização, isolada ou em combinação com outros materiais.

O terceiro capítulo será constituído por uma breve explicação relativa à sustentabilidade, mais precisamente aos princípios da construção sustentável, assim como o enquadramento da utilização da cortiça nos mesmos. Também será mencionado o conceito de ciclo de vida, assim como a metodologia de Avaliação do ciclo de vida.

No quarto capítulo serão aplicados de uma forma geral, os conceitos mencionados no capítulo três. Para esse efeito, será realizada uma análise de casos práticos de aplicação da cortiça e casos práticos com outro tipo de material isolante, aplicando a Avaliação do Ciclo de Vida.

Por último, no quinto capítulo serão apontadas considerações finais assim como uma breve conclusão sobre todo o trabalho realizado, incluindo as fontes de informação

2

A CORTIÇA

2.1 INTRODUÇÃO

A cortiça é o material que reveste os troncos e ramos do sobreiro (*Quercus suber L.*), uma árvore da família da azinheira e do carvalho, cultivada no Sul da Europa e Norte de África. Bastante apreciada em todo o mundo pelas suas características e diversas utilizações, a cortiça destaca-se pelo método de obtenção (descortiçamento), em que o sobreiro não é cortado. O descortiçamento poderá ser realizado quando a árvore atinge uma idade ente os 20 e 35 anos, em períodos mínimos de 9 anos, permitindo assim ao sobreiro a reposição de uma espessura idêntica da sua “casca”. A figura 1 apresenta um sobreiro que já foi descortiçado.



Figura 1 – Sobreiro descortiçado [1]

Por definição, a cortiça é o parênquima suberoso originado pelo meristema subero-felodérmico do sobreiro (*Quercus suber L.*). Macroscopicamente (figura 2), a cortiça é constituída por uma camada exterior chamada de “crosta” tendo esta como principal constituinte a “raspa”, pelos anéis de crescimento intermédios e pela “barriga” ou “ventre”, o último anel de crescimento que integra

a camada interior da cortiça. A cortiça é um material leve, elástico e praticamente impermeável a líquidos e gases, isolante térmico e elétrico e absorvedor acústico e vibrático, sendo também inócuo e praticamente imputrescível, apresentando a capacidade de ser comprimido sem expansão lateral [2].

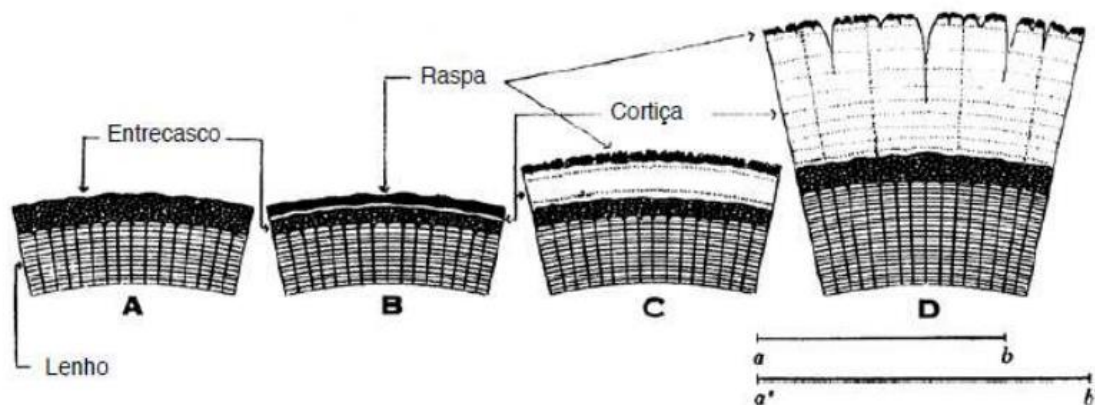


Figura 2 - Estrutura macroscópica da cortiça [2]

Microscopicamente, a cortiça é constituída por camadas de células de aspeto alveolar, cujas membranas celulares possuem um certo grau de impermeabilização e estão cheias de um gás semelhante ao ar, que ocupa cerca de 90 por cento do volume [3]. A figura 3 esquematiza a constituição microscópica da cortiça.

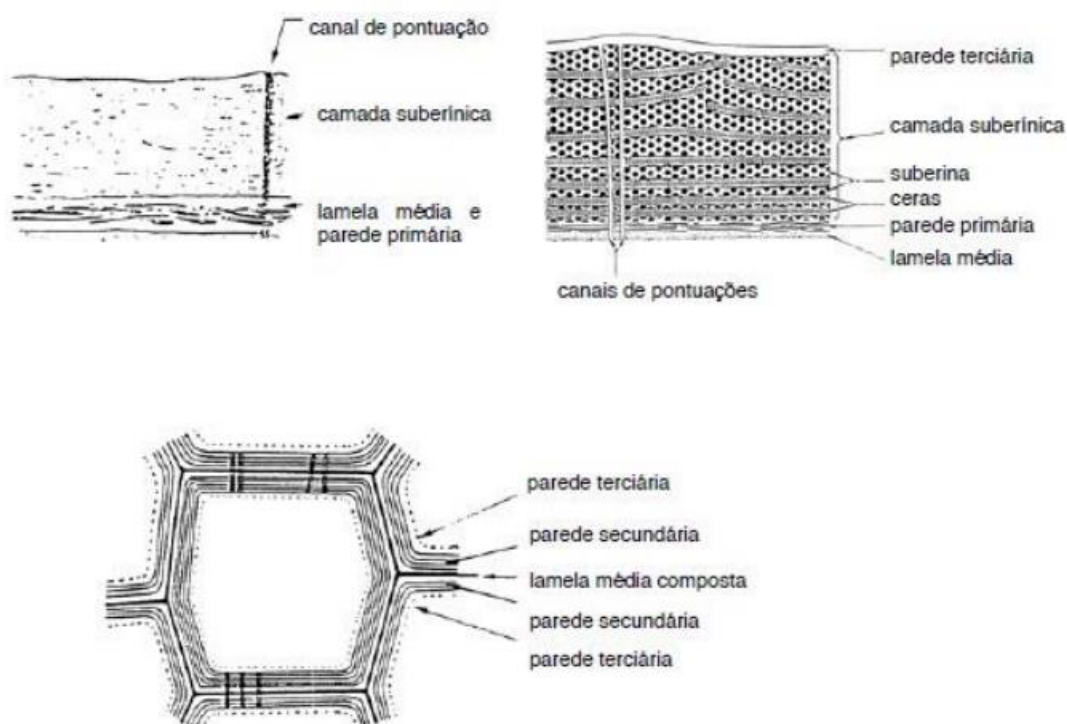


Figura 3 – Estrutura microscópica da cortiça [2]

Quando a cortiça é comprimida, as suas células encurvam e dobram, não lhe conferindo praticamente qualquer expansão lateral, havendo uma posterior recuperação. A cortiça é também um material que dissipa a energia de deformação. Possui uma massa volúmica média de cerca de 200 kg/m^3 e uma baixa condutibilidade térmica. A cortiça possui ainda uma notável estabilidade química e biológica e uma boa resistência ao fogo [3].

Para além disso a cortiça apresenta valores relativamente elevados de coeficiente de atrito ao mesmo tempo que as taxas de desgaste são baixas, propriedades muito úteis para algumas aplicações em construção civil, sendo que o seu atrito e desgaste não são influenciados pelo teor de humidade e pela temperatura. Por exemplo, é indicada uma taxa de desgaste da cortiça da ordem de 10^{-7} m.m^{-1} para uma tensão de compressão de 0,46 MPa. Também a condutividade dielétrica da cortiça é muito pequena, sendo considerada um material dielétrico e portanto isolante elétrico, e sendo a constante dielétrica para a cortiça seca a 20°C de 1,4 [3].

Em termos de composição química, a cortiça pode ser dividida em cinco grupos que englobam vários tipos de compostos, sendo apresentados no quadro 1 os valores típicos (% em peso).

Quadro 1 – Composição química da cortiça [3]

Composto	Função	Percentagem (peso)
Suberina	Compressibilidade e elasticidade	38-45%
Lenhina	Estrutura das paredes celulares	27%
Polissacáridos	Estrutura da cortiça	12-18%
Ceróides	Repelir a água e impermeabilização	6-7%
Taninos	Proteção do material	6-8%
Cinzas	Nenhuma relevante	3-4%

É de referir que a análise quantitativa varia muito de estudo para estudo, expressando a variabilidade de um produto natural complexo.

2.2 CARACTERÍSTICAS

A cortiça apresenta diversas propriedades que permitem a sua utilização como em materiais de alta tecnologia para a indústria aeroespacial, polímeros compostos para o sector dos transportes, equipamento desportivo de alta competição, obras de arquitetura e design. Para produtos do sector da construção são de realçar as seguintes características:

- Leveza;

- Compressibilidade-recuperação;
- Resiliência;
- Impermeabilidade;
- Comportamento à fricção e abrasão;
- Isolamento térmico;
- Isolamento acústico;

Em suma, a cortiça detém uma capacidade de sofrer uma grande deformação sem expansão lateral, sem fratura, com substancial recuperação após libertação da tensão aplicada, uma boa capacidade de absorção de energia, uma difícil penetração de líquidos, um elevado coeficiente de fricção e um comportamento antiderrapante, uma boa resistência ao desgaste, uma baixa condutibilidade de calor e de som assim como algumas características sensoriais (textura, cor, etc.). É um material de elevada durabilidade, com uma capacidade excecional para a conservação e a manutenção das suas propriedades iniciais. Pode portanto considerar-se um material não alterável nem perecível [3].

Caracteriza-se ainda como um material eco eficiente, com um ciclo de vida completo, no qual os resíduos do processo de fabricação são reutilizados como biomassa para a produção de novos produtos. Uma matéria-prima 100% natural, 100% reutilizável e 100% reciclável.

2.3 PORTUGAL NA PRODUÇÃO E INDÚSTRIA DE CORTIÇA

Grandes quantidades de sobreiros geram o que chamamos montado de sobreiro, designação atribuída no século XIV e associada à biodiversidade presente neste ambiente, já que o termo “montado” refere-se à variedade de animais que podiam “montar”. O montado distribui-se, essencialmente, no sul dos países do Mediterrâneo e Norte de África, sendo que é em Portugal que se encontra a maior área, com mais de 30 % do total mundial como é visível no quadro 2. O sobreiro é uma espécie espontânea que atualmente ocupa uma área superior a um terço do território Português, mas com grande concentração na região sul do país, no Alentejo. O montado é o lar de uma infindável variedade de espécies animais e vegetais e contribui, também, para a regulação do ciclo hidrológico e a proteção do solo, evitando a desertificação. Além disso, é importante enfatizar que o montado contribui para a fixação do dióxido de carbono (CO₂), gás responsável pelo aquecimento global, ao reter até 14 milhões de toneladas de CO₂, por ano [4].

Quadro 2 - Área de montado de sobreiro [5]

País	Área (Hectares - HA)	Percentagem
Portugal	736.775	34%
Espanha	574.248	27%
Marrocos	383.120	18%
Argélia	230.000	11%
Tunísia	85.771	4%
França	65.228	3%
Itália	64.800	3%
Total	2.139.942	100%

A União Europeia é o maior produtor de cortiça (mais de 80 por cento da produção mundial), designadamente nos países mediterrânicos ocidentais, dos quais se destaca Portugal (cerca de 50 por cento da produção mundial), como o maior produtor e transformador mundial de cortiça [3].

Quadro 3 - Produção de Cortiça por País [5]

País	Produção anual (toneladas)	Percentagem
Portugal	100.000	49.6%
Espanha	61.504	30.5%
Marrocos	11.686	5.8%
Argélia	9.915	4.9%
Tunísia	6.962	3.5%
Itália	6.161	3.1%
França	5.200	2.6%
Total	201.428	100%

A indústria da cortiça engloba vários subsectores desde a extração, preparação, fabricação, granulação e aglomeração das matérias-primas. De acordo com a informação do Gabinete de Estratégia e Estudos – Ministério da Economia, o número de empresas da indústria da cortiça aumentou de 2011 para 2012, na ordem dos nove por cento, contrariando a tendência registada nos últimos anos [5].

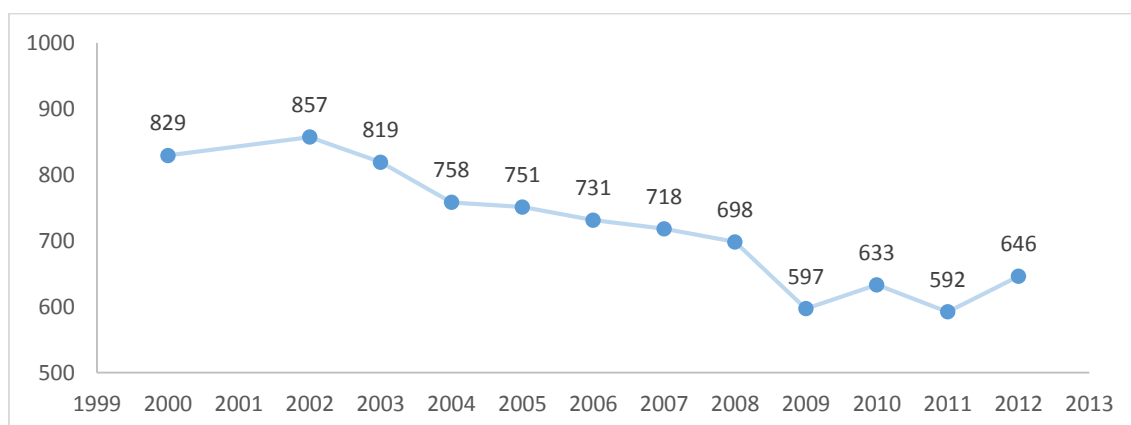


Figura 4 – Evolução do número de empresas da indústria da cortiça [5]

Atualmente o sector conta com quase 650 empresas a operar em Portugal, sendo o subsector predominante o da fabricação, correspondendo a cerca de 68 por cento da indústria corticeira do país seguido pelo da preparação da cortiça com 20 por cento e 12 por cento no comércio em bruto. É de referir que em Portugal são produzidos cerca de 40 milhões de rolhas em cortiça por dia (35 milhões das quais no Norte do País), e que empregam cerca de 9 mil trabalhadores [5].

2.4 A CORTIÇA COMO MATÉRIA-PRIMA

Como antes referido, a cortiça é extraída do tronco e ramos do sobreiro sob a forma de peças semi-tubulares (de calibres médios de 22-44 mm), podendo esse processo ser feito de forma mecânica ou manual com recurso a machados, por corte e arrancamento, usualmente realizada de Maio a Agosto devido a ser uma época de máxima atividade de formação de células, tornando mais fácil a remoção da casca do tronco [6].



Figura 5 - Descortiçamento manual [7]



Figura 6 – Cortiça Virgem [7]

No primeiro descortiçamento, o sobreiro produz uma cortiça chamada de virgem (figura 6), com uma superfície exterior muito irregular. Descortiçamentos sucessivos, dão origem a cortiça com uma superfície exterior mais uniforme, designada cortiça de reprodução, ou amadia. A primeira cortiça de reprodução, ainda com algumas irregularidades, tem o nome específico de secundeira, tendo utilizações semelhantes às da cortiça virgem (trituração para se obterem granulados para a produção de aglomerados) [6].

Dos despojos da poda, é obtida a falca, tecido misto de cortiça virgem, entrecasco e lenho, retirada tradicionalmente com machado ou enxó a partir dos ramos podados dos sobreiros ou, mais modernamente, com equipamento específico [6].

Nos aglomerados compostos, são utilizados granulados obtidos a partir da trituração de cortiça virgem, bocados, refugo e desperdícios de outras operações de processamento, como sejam as aparas (de broca, de recorte), rolhas defeituosas, restos de aglomerados, entre outros. No fabrico do aglomerado expandido de cortiça, é utilizado um triturado mais grosseiro, em geral com uma granulometria na gama 5-20 mm, mas que pode ser de 3-22 mm, obtido essencialmente por trituração de cortiça virgem dos ramos podados do sobreiro (falca) e de outros tipos menores de cortiça e inclusivamente cortiça queimada resultante de incêndios florestais, permitindo a valorização destas matérias-primas [6].

2.5 PRODUTOS EM CORTIÇA NA CONSTRUÇÃO

As aplicações da cortiça na construção civil são bastante antigas, remontando à Pré-História onde seria utilizada na sua forma natural em pranchas. Também é de referir que o registo mais antigo da cortiça na arquitetura tradicional vem dos II e I milénios a.C. na Sardenha, embora haja referências um pouco por todo o Mediterrâneo. Durante a Idade Média e a seguir, era já exportada para o resto da Europa, para fins diversos, mas havendo já aplicações na construção [6].

Na atualidade, embora o principal sector de destino dos produtos de cortiça seja a indústria vinícola, absorvendo 70,1 por cento de tudo que é produzido, este sector é seguido pelo da construção civil com 26,3 por cento e outros produtos (por exemplo decoração) com apenas 3,6 por cento. Essa utilização na construção deve-se ao desenvolvimento de novos materiais derivados e à melhoria das suas características, apoiada pela crescente tendência para a utilização de materiais naturais e sustentáveis como a cortiça [5].

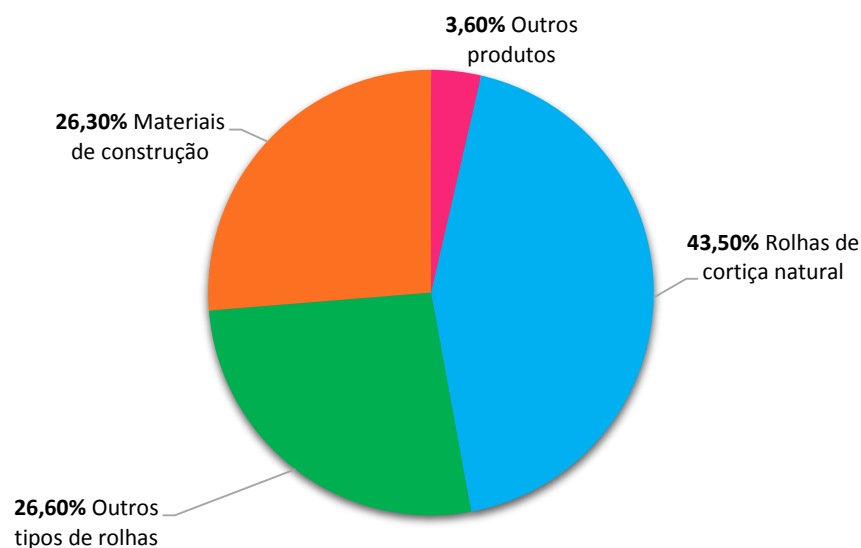


Figura 7 - Estrutura das vendas (Exportações) de cortiça por tipo de produtos em valor (2014) [5]

Os produtos de cortiça mais correntes para construção civil são:

- Granulados e triturados;
- Aglomerado expandido de cortiça e regranulado;
- Aglomerados compostos diversos;
- Aglomerado de cortiça com borracha;
- Linóleos;
- Produtos de cortiça em associação com outros materiais.

Para a obtenção de alguns desses produtos é necessário seguir processos e metodologias como os apresentados nos próximos subcapítulos.

2.5.1 GRANULADOS E TRITURADOS



Figura 8 - Granulado de cortiça [8]

Os granulados (figura 8) são fragmentos de cortiça com dimensões entre 0,25 e 8 mm obtidos através da ação de moinhos de estrelas ou de dentes (destroçadores), moinhos de martelos e moinhos de facas; os moinhos de atrito (mós) funcionam essencialmente como afinadores de granulometria e limpeza final. É também efetuada uma secagem por circulação forçada de ar quente, para conferir ao granulado o grau de humidade desejado. Partículas inferiores a 0,25 mm são consideradas pó de cortiça sendo um resíduo proveniente dos processos de granulação e trituração, com utilidades como fertilizante natural (quando colhidos separadamente e não contaminados) ou como combustível de biomassa (valorização energética em caldeiras que utilizem biomassa) [6]. O quadro 4 apresenta a variação do teor de humidade e massa volúmica com a granulometria dos granulados.

Quadro 4 – Características dos granulados de cortiça [6]

Granulometria (mm)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Teor de humidade (% p/p)
0,2 - 0,5	45 - 70	6
0,5 - 1,0	45 - 120	6
1,0 - 2,0	45 - 120	7
2,0 - 4,0	45 - 120	7 - 8
4,0 - 8,0	60 - 65	9

As partículas obtidas por granulação/trituração são designadas por “granulado” ou “triturado” consoante a sua granulometria, designando respetivamente as granulometrias mais finas e as granulometrias mais grosseiras. Para os materiais de construção civil, podem ser utilizados todos os tipos de cortiça, sendo mais comum o uso de cortiça virgem, bocados, refugo e desperdícios de outras operações de processamento como por exemplo aparas de broca para fabrico de rolhas.

Antes de ser triturado, o material é armazenado ao ar livre e/ou recinto coberto, aberto e arejado, seguindo-se a granulação que se divide em destroçamento, trituração, afinação da granulometria, limpeza de impurezas e separação granulométrica. Um produto proveniente da trituração é o chamado *Broken*, com dimensões variando os 2 a 14 mm que em conjunto com o granulado é bastante utilizado na construção civil como isolamento térmico e acústico (enchimento de espaços, mistura com argamassas) e para produção de cortiça aglomerada.

Os regranulados provenientes dos desperdícios do aglomerado expandido para além da aplicação em enchimento de paredes, terraços e coberturas, também podem ser utilizados em mistura com betão [6].

2.5.2 AGLOMERADO EXPANDIDO DE CORTIÇA E REGRANULADO

O aglomerado expandido de cortiça, também conhecido como “aglomerado negro” devido à sua cor escura, é obtido através da utilização de cortiça que não é usualmente processada nas restantes indústrias granuladoras/aglomeradoras, como o caso da falca, cortiça proveniente das operações de poda e limpeza dos sobreiros.

A transformação da falca neste tipo de aglomerado dá início com uma fase de granulação em que esta é triturada e limpa, com granulometria variável dependendo do tipo de aglomerado a fabricar, sendo normalmente de 5 a 20 mm, no caso de funções de isolamento acústicos passa de 3 a 10 mm e para questões térmicas de 5 a 22 mm.

Após a obtenção dos granulados de cortiça, é necessário realizar a eliminação de impurezas com o auxílio de separadores densimétricos (vibratórios), crivos e eventualmente separadores pneumáticos ou mantas rotativas. Desta forma o granulado fica pronto a ser ensilado e seco até se alcançar um teor de humidade ideal para a operação de “cozimento”. É de referir que a temperatura de secagem não pode ser muito elevada para não correr o risco de haver perda das resinas naturais (suberina) da cortiça que servirão como “cola natural”.

A fase seguinte é descrita como a de aglomeração, em que recorrendo a autoclaves e por ação de vapor de água sobreaquecido a uma temperatura média de cerca de 300-370 °C e uma pressão de 40 kPa, os granulados que se encontram ligeiramente comprimidos dentro de moldes, sofrem uma expansão e exsudam a sua própria resina, permitindo assim a sua ligação sem qualquer tipo de aditivos. O tempo de “cozimento”, que depende do teor de humidade do granulado, é para os casos mais comuns cerca de 17 a 30 minutos. É de referir que controlando a pressão e a temperatura do vapor de água, é possível aumentar o volume do granulado para perto do dobro, (determinando assim a sua aglutinação), mas em relação à massa volúmica só é obtível um valor por volta de 300 kg/m³ devido à crescente dificuldade que o vapor encontra em atravessar o granulado à medida que este se comprime.

Após esse processo, é obtido um bloco de cortiça expandida que, depois de estabilizado, é retificado e cortado em placas de diferentes espessuras como é visível na figura 9 recorrendo a serras de fita, serras de disco e eventual um acabamento com lixadeiras. Desses desperdícios da retificação, de possíveis placas defeituosas ou até mesmo de placas obtidas em demolições, é possível obter-se um regranulado de cortiça expandida através de uma retrituração de dimensões por volta de 3-20 mm [6].



Figura 9 – Placas de aglomerado expandido de cortiça [9]

O aglomerado expandido de cortiça é uma solução técnica excelente para isolamentos térmicos, acústicos e vibráticos. Na cortiça, as células são fechadas, pelo que os poros não estão interligados a aberturas para o exterior. Como tal, a absorção sonora é fraca. No entanto, o aglomerado negro de cortiça apresenta uma porosidade aberta entre os grânulos de cortiça, sendo a fração em volume destes poros tanto maior quanto menor for a densidade do aglomerado. Esta característica melhora o coeficiente de absorção de energia sonora e mecânica, devido à dissipação de energia resultante da componente viscosa da deformação da cortiça.

Na função de isolante térmico, o aglomerado expandido de cortiça auxilia na proteção contra as amplitudes térmicas, reduzindo perdas de energia e condensação superficial de humidade nas paredes e tetos. No campo da acústica, a capacidade de absorção do material contribui para a diminuição do tempo de reverberação e reduz a transmissão de som por impacto. Deste modo, a aplicação de aglomerado de cortiça no piso ou parede garante a absorção de uma parte da energia total do som incidente e consequentemente diminui o som refletido.

Além disso, o aglomerado expandido de cortiça pode ser aplicado como amortecedor de grandes vibrações provenientes de máquinas, reduzindo a transmissão das vibrações para as estruturas e fundações do edifício.

Resumindo, o aglomerado expandido de cortiça detém as seguintes características:

- Matéria-prima 100% natural e renovável;
- Processo industrial sem utilização de aditivos;
- Densidade (standard) 100-120 kg/m³;
- Excelente coeficiente de condutibilidade térmica – 0,038/0,040W/mk);
- Bom isolamento acústico (ruídos aéreos e de percussão);
- Excelentes propriedades mecânicas;
- Excelente estabilidade dimensional;
- O bom comportamento ao fogo e em caso de combustão não há emissão de gases tóxicos;
- Durabilidade praticamente ilimitada, sem perda das suas características;
- Totalmente reciclável e reutilizável.

Uma solução natural para a construção sustentável [4].

2.5.3 AGLOMERADOS COMPOSTOS DIVERSOS



Figura 10 - Aglomerado composto de cortiça

O aglomerado composto (figura 10), também chamado de “aglomerado branco” utiliza como principal matéria-prima o granulado obtido pela trituração de desperdícios de cortiça proveniente de outros tipos de produção fabril. Este tipo de aglomerado resulta de um processo de aglutinação dos grânulos de cortiça por ação conjunta da pressão, temperatura, um agente aglutinador e por vezes outros aditivos. A adesão do material é determinada pela sua fração de área superficial molhada e da força de adesão específica do aglutinante. Isto implica que o adesivo tenha uma baixa viscosidade e que o ângulo de contacto cortiça-adesivo seja pequeno para proporcionar uma boa adesão.

No fabrico de aglomerados compostos, as dimensões do granulado, massa volúmica e agente ligante serão variáveis dependendo do tipo de utilização, como por exemplo:

- Para fins decorativos – É usada uma massa volúmica entre 200 e 350 kg/m³, granulados de calibre fino-médio;
- Para juntas de dilatação/expansão – É usada uma massa volúmica de 250-350 kg/m³, granulados de calibre médio;
- Para revestimentos de pisos – É usada uma massa volúmica superior a 450 kg/m³ podendo chegar a 600 kg/m³.

Os agentes de aglutinação mais utilizados são as resinas sintéticas de poliuretano, fenólicas (fenol-formaldeído) e melamínicas, podendo também ser utilizadas resinas de origem vegetal numa quantidade de 4 a 7 por cento em peso da massa do granulado de cortiça ou ligantes de base aquosa (sem fenol, formaldeído ou isocianetos) e à base de enzimas, reduzindo assim as emissões de substâncias nocivas durante a produção e a utilização. No caso particular de aglomerados compostos para utilização em juntas de dilatação/expansão, recorre-se a colas do tipo fenólicas.

É de referir que para realçar ou inibir determinadas propriedades são ainda utilizados aditivos como plastificantes, corantes, estabilizantes, antioxidantes e ignífugos [6].

O processo de fabrico passa por misturar em quantidades exatas dos materiais em moldes, normalmente metálicos e de forma paralelepípedica em que após uma prensagem, são colocados

em estufas de “cura” podendo ser fornos de aquecimento a temperaturas entre os 110-150 °C durante períodos de 4 a 22h ou sistemas de hiperfrequência podendo demorar apenas 3 a 4 minutos.

Após a “cura”, efetua-se a desmoldagem e um arrefecimento/estabilização, obtendo-se um bloco de aglomerado sendo este laminado em folhas. Assim como os aglomerados expandidos de cortiça, as folhas de aglomerados compostos passam por uma fase de limpeza e lixagem superficial das folhas acertando assim a sua espessura e conferindo o grau de rugosidade desejado, podendo ainda serem envernizadas ou enceradas.

No domínio dos aglomerados compostos para construção civil, podemos incluir os rolos de cortiça, que geralmente são utilizados como “*underlay*” de revestimentos de piso rígidos.

2.5.4 AGLOMERADO DE CORTIÇA COM BORRACHA

O nome aglomerado de cortiça com borracha já é indicador que este tipo de aglomerado também designado por *rubbercork* ou *corkrubber* tem como base o material cortiça associado com borracha. Os grânulos de cortiça utilizados para o fabrico deste tipo de aglomerado são usualmente de granulometria mais fina do que para os aglomerados apresentados anteriormente. O tipo de borracha consumida depende da aplicação pretendida para o aglomerado, recorrendo também à aplicação de agentes de vulcanização, antioxidantes, aceleradores de polimerização e corantes. Existem casos de fabrico de aglomerados de partículas de cortiça com reciclado de pneu, o que apoia mais uma vez a reutilização de matéria-prima e uma construção sustentável, princípios nobres associados à cortiça na construção.

De uma forma sintética, o processo de fabricação passa por homogeneizar a mistura a aglomerar (constituída pelo granulado de cortiça e pela borracha em pasta, pó ou em partículas pequenas), sendo esta comprimida e aquecida em misturadores cilíndricos. Após formada essa massa homogênea, esta pode ser cortada em placas e colocada em moldes, prensada e curada, obtendo-se blocos que podem ser seccionados ou colocados em moldes cilíndricos para serem “desenrolados” como indica a figura 11.



Figura 11 - Aglomerado de cortiça com borracha em rolo [11]

Esta mistura alia a resiliência da borracha às propriedades da cortiça, resistência mecânica e estabilidade dimensional, o que resulta num produto flexível, elástico e sólido. É usado essencialmente em juntas, antivibráticos e em pavimentos, sobretudo para locais de grande intensidade de tráfego. Por apresentar uma elevada resistência é também apreciado pela indústria automóvel, naval e eletromecânica.

2.5.5 LINÓLEO

No fabrico do linóleo são utilizados os granulados de cortiça mais finos e densos, que com o óleo de linhaça oxidado, resina (colofónia), juta, serradura, óxidos metálicos e corantes (produtos naturais), dão origem a um produto compacto, muito resistente ao desgaste e de fácil limpeza e manutenção mínima, usado essencialmente em revestimentos.

Basicamente o óleo de linhaça é espessado por calor ou exposto ao ar numa sucessão de camadas finas, até se obter um material com a consistência da borracha, sendo em seguida moído e misturado entre dois cilindros (calandra) com aditivos e com cortiça. Em seguida é realizada a cura que pode durar 14 a 21 dias.

O linóleo pode ser fornecido em várias cores, padrões e espessuras como demonstram as figuras 12 e 13, sendo 2,5 mm considerado adequado para utilização doméstica [6].



Figura 13 – Linóleo datado da década de 1950 [12]

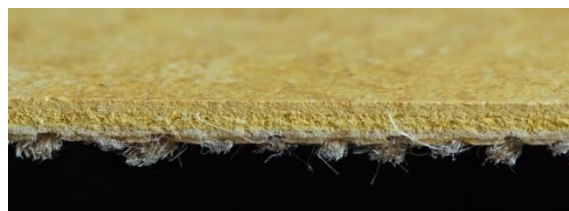


Figura 12 – Secção transversal de uma placa de linóleo [13]

2.5.6 PRODUTOS DE CORTIÇA EM ASSOCIAÇÃO COM OUTROS MATERIAIS

Existem vários produtos que combinam a cortiça com outros materiais, sendo talvez um dos mais utilizados o piso flutuante. O piso flutuante em cortiça é formado por um decorativo em cortiça, uma camada de cortiça aglomerada, uma camada intermédia em MDF ou HDF (respetivamente aglomerado de fibras de madeira de média ou de alta densidade) e uma camada inferior em cortiça aglomerada. Os painéis que podem ter espessuras de 10 a 12 mm, são cortados em dimensões específicas e as arestas trabalhadas à fresa com um perfil que permite o encaixe mecânico dos painéis entre si sem o recurso a cola (por exemplo do tipo clique ou macho-fêmea). Este tipo de produto tem a grande vantagem da facilidade de instalação, podendo ser pousado diretamente sobre o piso existente (ou vários tipos de subpavimentos), sem cola, daí a designação “flutuante”.

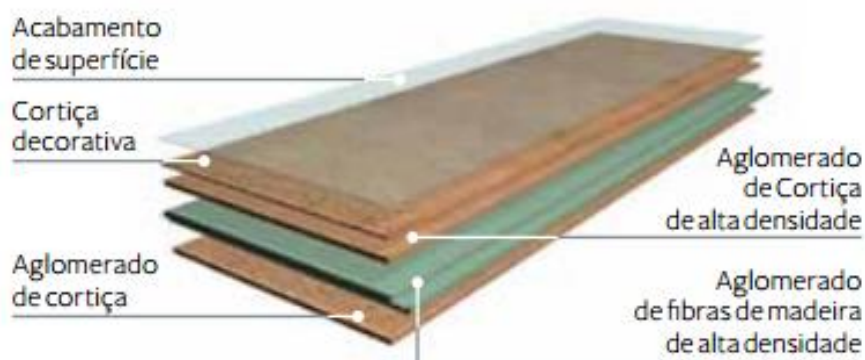


Figura 14 – Constituição de um painel de piso flutuante em cortiça [4]

Outro produto existente comercializável que incorpora a cortiça é um reboco com cortiça fornecido sob a forma de uma pré mistura de cortiça com argila, terra de diatomáceas, aditivos naturais e fibras de polipropileno, que juntamente com cal hidráulica compõe uma argamassa que tem uma ação de isolamento térmico, absorção acústica e ainda desumidificante. A argila, para além de possuir um ótimo coeficiente térmico, confere consistência à argamassa; a terra de diatomácea, um mineral que se forma naturalmente graças à acumulação de materiais orgânicos, detém um elevado grau de porosidade (85 por cento do seu volume) permitindo que a mesma possa absorver até uma vez e meia o seu próprio peso, mantendo as suas características de material inerte completamente seco; os aditivos naturais tornam a mistura mais maleável e fácil de aplicar; as fibras de polipropileno melhoram a resistência mecânica, impedem o aparecimento de fissuras e permitem que a parede revestida gere pontos térmicos.

2.6 SOLUÇÕES EM CORTIÇA

Na construção civil, a aplicação dos produtos anteriormente apresentados em cortiça pode tomar várias formas e atuar em diversos locais numa casa ou edifício como isolamento ou simplesmente decoração. Algumas dessas utilizações são:

- Isolantes térmicos, acústicos e vibráticos (em paredes, tetos e pavimentos);
- Tetos falsos;
- Revestimento de paredes, pisos e tetos;
- Rodapés;
- Linóleos;
- Granulados para enchimento de espaços e misturas com argamassas;
- Juntas isolantes e de dilatação ou compressão;
- Fins industriais (antivibráticos para maquinaria e isolamentos para frio industrial).

As aplicações são vastas, podendo de uma forma resumida catalogar essas soluções consoante o elemento de construção afetado (Quadro 5):

Quadro 5 – Aplicações da cortiça ligadas à área da construção [14]

Elemento	Aplicações	Produto
Coberturas	Cobertura Inclinada com Subtelha	Aglom. de Cortiça Exp.
	Cobertura Inclinada Tradicional com Tela de Vapor	Aglom. de Cortiça Exp.
	Cobertura Inclinada com isolamento pelo interior entre traves	Aglom. de Cortiça Exp.
	Enchimento de caixas sobre laje esteira	Granulado de Cortiça Exp.
	Cobertura Plana Ajardinada	Aglom. de Cortiça Exp.
	Cobertura Plana Tradicional	Aglom. de Cortiça Exp.
	Cobertura Inclinada com isolamento sobre laje de esteira	Aglom. de Cortiça Exp.
Paredes exteriores	ETICS	Aglom. de Cortiça Exp.
	Parede Dupla com isolamento preenchendo parte da caixa-de-ar	Aglom. de Cortiça Exp.
	Revestimento exterior à vista	Aglom. de Cortiça Exp.
	Revestimento exterior à vista com sistema de encaixe	Aglom. de Cortiça Exp.
	Fachada Ventilada	Aglom. de Cortiça Exp.
	Isolamento interior de paredes exteriores	Aglom. de Cortiça Exp.

	Suporte para lambril de madeira	Aglom. de Cortiça Exp.
	Suporte para gesso cartonado	Aglom. de Cortiça Exp.
Paredes interiores	Parede divisória com isolamento bifacial	Aglom. de Cortiça Exp.
	Parede Dupla com isolamento preenchendo a caixa-de-ar	Aglom. de Cortiça Exp.
	Divisória Composta com isolamento	Aglom. de Cortiça Exp.
	Divisória Simples com isolamento	Aglom. de Cortiça Exp.
	Enchimento de Paredes Duplas Interiores com Granulado	Granulado de Cortiça Exp.
	Decorativo de Paredes Interiores	Aglom. de Cortiça Exp.
	Desligamento de divisórias simples	Aglom. de Cortiça Exp.
	Desligamento de paredes interiores	Aglom. de Cortiça Exp.
Laje e Pavimento	Lajeta Flutuante com revestimento madeira	Aglom. de Cortiça Exp.
	Lajeta Flutuante com revestimento mosaico	Aglom. de Cortiça Exp.
	Suporte para soalho	Aglom. de Cortiça Exp.
	Desligamento de betonilha de enchimento à parede	Aglom. de Cortiça Exp.
	Betonilha de Enchimento (betão leve)	Granulado de Cortiça Exp.
	Preenchimento de Caixa de Soalho	Aglom. de Cortiça Exp.
	Enchimento de Caixa de Soalho	Granulado de Cortiça Exp.
	Piso radiante tradicional	Aglom. de Cortiça Exp.
	Piso radiante elétrico	Aglom. de Cortiça Exp.
Tetos	Piso Rustico decorativo	Granulado de Cortiça Exp.
	Sistema de cofragem perdida	Aglom. de Cortiça Exp.
	Teto Falso Acústico	Aglom. de Cortiça Exp.
Outras aplicações	Teto Decorativo	Aglom. de Cortiça Exp.
	Juntas de Dilatação	Aglom. de Cortiça Exp.
	Cobre Tubos	Aglom. de Cortiça Exp.
	Eliminação de Vibrações	Aglom. de Cortiça Exp.
	Preenchimento do núcleo de portas	Aglom. de Cortiça Exp.
	Desacoplamento e preenchimento do núcleo de Janelas	Aglom. de Cortiça Exp.

É verificado que o produto mais utilizado nas soluções no quadro acima apresentado é o aglomerado de cortiça expandida, isto devido à sua fácil trabalhabilidade e características, anteriormente apresentadas. É também visível a versatilidade da cortiça nos locais da sua aplicação, que para além de funções estéticas, pode desempenhar funções de isolamento em coberturas, fachadas, paredes e pavimentos. A figura 15 identifica esquematicamente algumas dessas funções.



Figura 15 – Esquema exemplificativo da aplicação de cortiça numa habitação [4]

Recorrendo a duas das soluções apresentadas em cortiça no quadro anterior, é pretendido de forma elucidativa exemplificar esquematicamente a aplicação do aglomerado expandido e do granulado de cortiça.

O exemplo escolhido em que é aplicado o aglomerado expandido de cortiça é o da cobertura inclinada com subtelha. A figura 16 demonstra esse tipo de cobertura, onde é visível a colocação da placa de aglomerado de cortiça expandida entre a laje a subtelha.

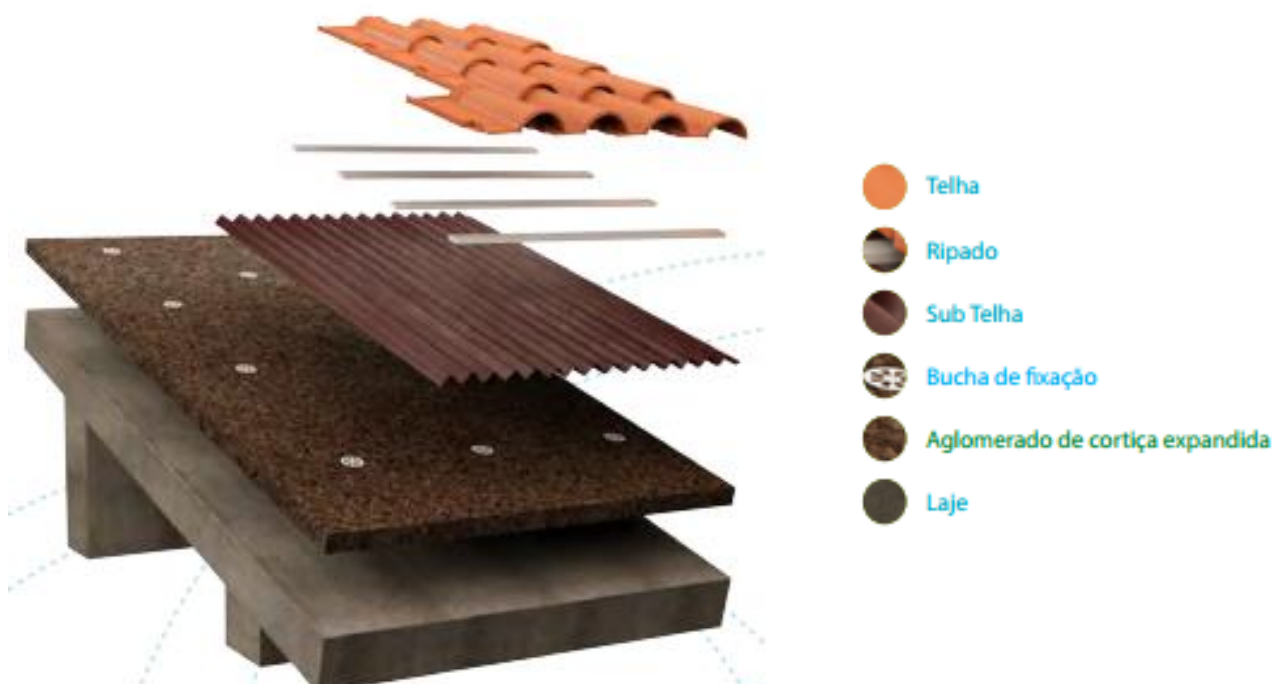


Figura 16 - Cobertura inclinada com subtelha [15]

Para a aplicação do granulado de cortiça expandida, foi escolhido o exemplo do enchimento da caixa de soalho. Como o observado na figura 17, o granulado de cortiça expandida será colocado sob o pavimento final, preenchendo a caixa de ar do sistema de soalho.



Figura 17 - Pavimento com enchimento da caixa de soalho [16]

3

SUSTENTABILIDADE

3.1 INTRODUÇÃO

O termo "sustentável" provém do latim *sustentare* (sustentar; defender; favorecer, apoiar; conservar, cuidar). Por volta da década de 1700, as diversas potências coloniais de países europeus encontraram problemas de escassez de recursos, nomeadamente madeira, devido à excessiva desflorestação dos seus territórios de forma a alimentar a produção industrial, a construção de navios e exploração mineira. Foi então que surgiu como resposta a essa escassez um tratado escrito por Hans Carl von Carlowitz, um contabilista fiscal e administrador de minérios alemão, em 1713 intitulado em latim de *Sylvicultura Oeconomica*. Nesse documento, o autor escreveu sobre “**administração sustentável**”, apresentando quatro estratégias para se conseguir tal objetivo:

- Políticas, em que o Estado regulava o consumo, garantindo a sustentabilidade para o bem comum;
- Coloniais, as políticas que se focavam em importar recursos em falta de outros territórios conquistados e colonizados;
- Liberais, permitindo o mercado aberto e o livre comércio de forma a haver um ajuste próprio entre a procura e oferta, apoiando a produção nos países mais aptos para tal em termos de recursos (em mais abundância);
- Técnicas, que para superar a escassez e garantir a sustentabilidade optava-se pela inovação tecnológica ou a substituição dos recursos em falta (por exemplo em vez da utilização da madeira usar carvão e mais tarde substituir o carvão pelo petróleo).

Das várias alternativas apresentadas por Hans Carl von Carlowitz, a que não foi seguida certamente foi a estratégia política, pois podemos verificar que ao longo da história a nossa sociedade tornou-se gradualmente insustentável, provocando várias alterações ambientais a nível mundial, com consequências sociais e económicas associadas. Podemos assim afirmar que a sustentabilidade é um conceito que surge da perceção da escassez, da necessidade de combater a falta de algum recurso [17].

Mais tarde, o conceito de **sustentabilidade** começou a ser utilizado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment – UNCHE) realizada na Suécia, na cidade de Estocolmo, de 5 a 16 de Junho de 1972, sendo a primeira grande conferência internacional para discutir atividades humanas em relação ao meio ambiente da Organização das Nações Unidas. Foi nesta conferência que foram lançadas e delineadas as primeiras bases das ações ambientais a nível internacional, chamando a especial atenção para questões relacionadas com a degradação ambiental e a poluição.

A Declaração de Estocolmo traduziu-se assim num Plano de Ação que definiu princípios de preservação e melhoria ambiental, destacando a necessidade de apoio financeiro e assistência técnica a comunidades e países mais pobres. Embora ainda não fosse utilizada a expressão “**desenvolvimento sustentável**”, esta teria sido abordada num dos pontos da declaração na necessidade de máxima importância de “defender e melhorar o ambiente humano para as atuais e futuras gerações”, objetivo alcançado através da paz e o desenvolvimento económico e social [18].

Foi mais tarde, em 1987 no Relatório Brundtland, redigido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (criada pela Organização das Nações Unidas) oficializado o uso do conceito “**desenvolvimento sustentável**”.

Desenvolvimento sustentável é definido como “*O desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades*” (Relatório Brundtland, 1987).

Este conceito significa dar a possibilidade das pessoas, agora e no futuro, atingirem um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico e de realização cultural e humana, permitindo em simultâneo um uso responsável dos recursos da Terra e preservação as espécies e os habitats naturais.

Este relatório publicado com o título “*Nosso futuro comum*” foi criado como uma espécie de declaração universal sobre a proteção ambiental, em que é apresentada uma proposta de integrar a questão ambiental no desenvolvimento económico, criando não só um novo termo, mas também uma nova forma de progredir. A sustentabilidade surge assim num contexto ligado ao desenvolvimento da sociedade, economia e ambiente, de uma forma harmoniosa, podendo ser representado por um “triângulo da sustentabilidade” como o da figura 18. Este triângulo demonstra que para a concretização desse desenvolvimento equilibrado é necessário estabelecer relações baseadas na valorização e internalização económica dos custos ambientais, na garantia da equidade intrageracional promovida por mecanismos de redistribuição e da promoção do emprego e bem-estar, na garantia da equidade intergeracional e na promoção da participação pública [19].

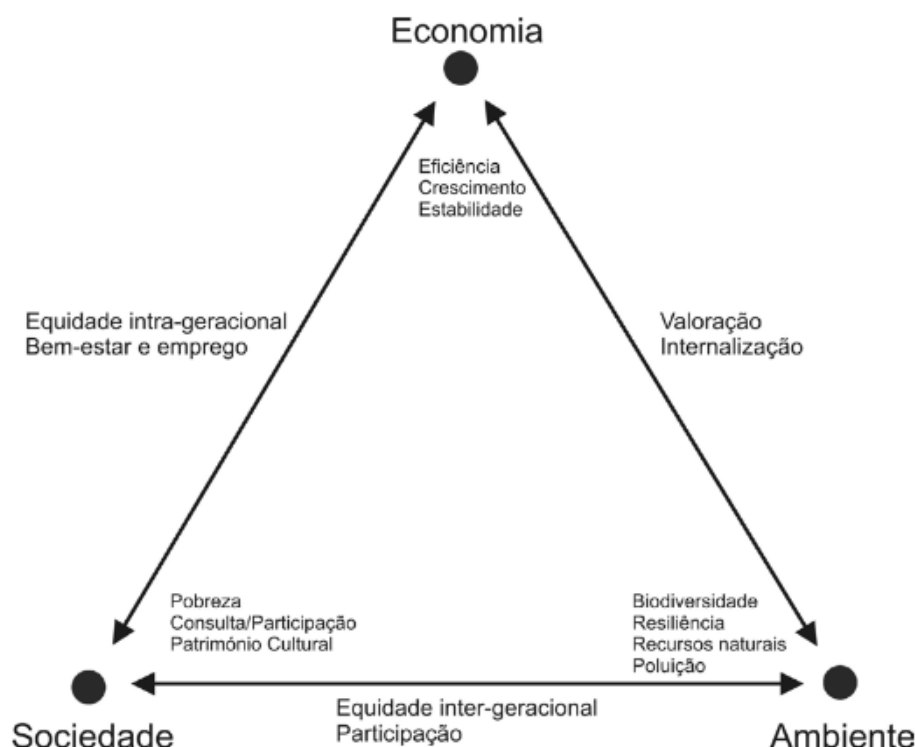


Figura 18 - Triângulo da Sustentabilidade [19]

Um momento marcante na evolução e globalização do conceito de desenvolvimento sustentável foi de 3 a 14 de Junho de 1992, quando se realizou no Rio de Janeiro uma Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (organizada pela ONU), estando presentes representantes de 108 países de todo o mundo entre eles alguns chefes de estado, fator indicativo da importância atribuída à questão ambiental no início da década de 90. Nesta conferência foram decididas algumas medidas a tomar para conseguir diminuir a degradação ambiental de forma a pensar nas gerações futuras, isto é, foram discutidas ideias para introduzir o conceito de desenvolvimento sustentável de uma forma global, aplicando um modelo de crescimento económico menos consumista e mais orientado ao equilíbrio ecológico.

Para além da sensibilização das sociedades e das elites políticas, esta conferência permitiu a produção de alguns documentos oficiais e fundamentais como [20]:

- A Carta da Terra;
- A Convenção sobre Diversidade Biológica;
- A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação;
- A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima;
- A Declaração de Princípios sobre Florestas;
- A Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento;
- A Agenda 21.

É sabido que as atividades de exploração de recursos executadas pelo Homem põem em causa a biodiversidade na Terra, diminuindo cerca de 50.000 espécies por ano e que os recursos inorgânicos não são inesgotáveis, pelo que é necessário haver uma alteração nos sistemas energéticos, recorrendo a fontes renováveis e implementação de políticas que apoiem a

reciclagem/reutilização dos resíduos produzidos pela atividade humana. Um dos fatores preponderantes a essa linha de pensamento é o elevado ritmo de crescimento populacional (nascem cerca de 250.000 pessoas por dia) que por sua vez aumenta exponencialmente o consumo de recursos naturais, com padrões de conforto e exigência técnica crescentes devido à evolução a nível tecnológico. Constatou-se assim que sem uma mudança consciente, a Terra acabaria por atingir um ponto de saturação em que perderia a sua capacidade de assimilação de outras espécies e dos sistemas naturais do planeta, conduzindo a uma devastação total do meio natural e, consequentemente, à degradação do próprio meio construído. No presente é verificado que este problema persiste, recorrendo a cimeiras e conferências mundiais em que são discutidos índices de emissões poluentes e a escassez de certos recursos naturais, de forma a implementar medidas de ação corretivas combatendo a insustentabilidade [21].

3.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Construção sustentável é um termo que deriva do conceito de desenvolvimento sustentável. Analogamente ao seu conceito base, construção sustentável visa adotar uma estratégia ambiental direcionada à produção de construções melhor adaptadas ao meio ambiente e à exigência dos seus utilizadores, pensando sempre nas gerações futuras.

Embora seja uma preocupação recente, foi na Antiguidade Clássica que o arquiteto e engenheiro romano Marcos Vitrúvio Polião (século I a.C.) escreveu “*De Architectura*”, uma obra que demonstrava uma preocupação e um cuidado especial na localização, orientação e iluminação solar de edifícios, assim como consequentemente o aproveitamento do terreno [22].

No entanto, só mais tarde em 1992 na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (referida no ponto anterior) é que o conceito de “construção sustentável” voltou a ser discutido, aquando da aplicação de desenvolvimento sustentável a uma escala global, foram apresentadas também novas estratégias ambientais direcionadas ao setor da construção. Nesta conferência foram definidas as orientações para as estratégias a seguir quer a nível local quer nacional a aplicar na construção, enfatizando que se por um lado existe um crescimento exponencial do consumo energético no sector da edificação, por outro é visível a falta de adequação da arquitetura, do projeto de edifícios e do planeamento urbano face às condições climáticas de cada região.

No ano de 1994, foi proferida por **Charles Kibert** no âmbito do Conselho Internacional da Construção (CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction) a definição mais consensual e utilizada recentemente de “construção sustentável”:

“A Construção Sustentável tem como objetivo a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos” (Charles Kibert, 1994).

Com base nesta definição, o CIB apresentou “os sete princípios para a construção sustentável”, indicados no quadro 6.

Quadro 6 – Os sete princípios da construção sustentável [2] [21]

Princípios	
1. Reduzir o consumo de recursos	(Redução)
2. Reutilizar recursos	(Reutilização)
3. Utilizar recursos recicláveis	(Reciclagem)
4. Proteger a natureza	(Proteção Ambiental)
5. Eliminar produtos tóxicos	(Eliminação da toxicidade)
6. Analisar os custos de ciclo de vida	(Económico)
7. Assegurar a qualidade	(Qualidade)

Estes princípios devem ser aplicados em todo o ciclo de vida de um edifício, desde a fase inicial de planeamento até à fase final de tratamento de produtos provenientes da demolição/desconstrução para reaproveitamento ou devolução ao meio ambiente. Estes princípios também são aplicáveis aos recursos necessários para a criação e manutenção do ambiente construído, nomeadamente terreno, materiais, água, energia e ecossistemas [21].

Assim como o desenvolvimento sustentável, construção sustentável apoia-se no equilíbrio dos pilares económicos, ambientais e sociais. Podendo neste caso associar a componente económica com a valorização do ativo imobiliário, criação de emprego e desenvolvimento de outros setores económicos. A nível ambiental é de grande importância ter em conta o consumo de recursos naturais, emissões de gases de efeito de estufa, produção de resíduos, conforto térmico e acústico, ocupação do solo e impacto na biodiversidade. Quanto ao fator social, é necessário ter em atenção a relação saúde/segurança no trabalho, formação profissional, integração da construção no meio natural, considerando problemas paisagísticos e de impacto visual [2].

Inicialmente as atividades relacionadas com a construção focavam-se em preocupações tradicionais e básicas como qualidade do produto, tempo de produção e custos associados. Com a aplicação do conceito de construção sustentável, a preocupação ambiental introduziu aspetos relacionados com a qualidade ambiental, dando origem à construção ecoeficiente e arquitetura ecológica, cujas preocupações se baseiam na redução do impacto negativo da edificação no ecossistema, controlando o consumo de recursos, emissão de poluentes e preservação da biodiversidade. Um exemplo desse tipo de construção é verificado em Singapura no hotel *Parkroyal* apresentado na figura 19, que prova que é possível conservar vegetação em construções elevadas. Podemos assim concluir que a construção sustentável engloba os princípios da construção tradicional com os princípios da construção ecoeficiente, enquadrando-os a nível ambiental, social e económico. [2]



Figura 19 - Hotel *Parkroyal* em Singapura [23]

Um dos grandes problemas em adotar políticas de construção sustentável e ecoeficiente é que para se atingir baixos custos de manutenção e operação das construções é necessário aceitar custos iniciais mais elevados do que na construção tradicional. Em contrapartida é sabido que o tempo de vida útil do edificado é relativamente elevado, levando a pensar a longo prazo e a investir em tecnologias ecológicas, mesmo que os benefícios só sejam notados após vários anos.

Conclui-se que uma obra sustentável deve considerar todo o processo de concepção do projeto, construção, utilização e pós vida útil. É fundamental saber quem vai usufruir da obra, qual o tempo de vida útil esperado e se após esse tempo poderá ser feito algum reaproveitamento dos materiais que a compõem. Devem-se evitar desperdícios, minimizando o consumo de energia utilizada nos processos construtivos e operativos [2]. As prioridades a adotar no projeto de uma construção sustentável podem ser resumidas na figura 20.

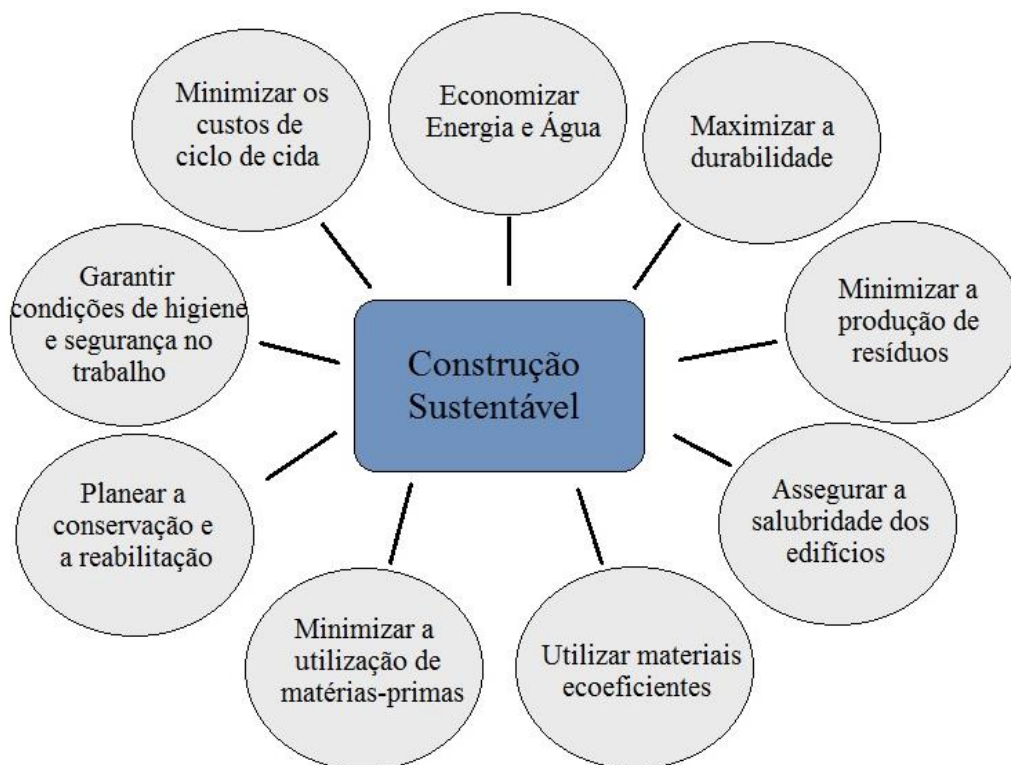


Figura 20 - Propriedades a considerar no projeto de uma construção sustentável [21]

Com o aumento da eficiência energética dos edifícios, os materiais de construção que os constituem também vão adquirindo uma maior importância, o que justifica uma atenção acrescida sobre os mesmos.

Os materiais chamados de ecoeficientes são aqueles que apresentam qualidades como:

- Elevada durabilidade;
- Baixa manutenção;
- Baixa energia primária incorporada;
- Económico ao longo do seu ciclo de vida;
- Não seja nocivo à camada de ozono.

São ainda materiais locais, elaborados a partir de matérias-primas recicladas e que preferencialmente tenham possibilidades de ser reutilizados após a sua vida útil. Também é preciso ter em atenção alguns cuidados adicionais com a escolha do material de construção a utilizar, como as condições climáticas do local e tipo de utilização destinada à construção.

Para se perceber melhor a importância da escolha dos materiais utilizados na construção sustentável é necessário perceber quais os impactos ambientais associados à extração das suas matérias-primas, pois visto que não existem matérias-primas inesgotáveis, um fator de escolha será quais os impactos ambientais provocados pela sua extração como a destruição da biodiversidade dos locais de extração, quantidade de resíduos e pelos possíveis acidentes e catástrofes ambientais gerados.

Um método criado para avaliar os materiais a utilizar é a **Avaliação do Ciclo de Vida**, em que são contabilizados todos os impactos ambientais causados por cada material desde o início da extração da sua matéria-prima até à fase final do ciclo de vida.

Embora a construção sustentável seja apoiada em todo o Mundo através de códigos, normas e regulamentos na área da construção que incorporam medidas associadas à sustentabilidade no setor, ainda existem problemas que dificultam a sua aplicação como a falta de dados regionais para a avaliação da sustentabilidade e ausência de políticas governamentais favoráveis ao desenvolvimento sustentável. A nível nacional, a consciencialização social acerca da construção sustentável encontra-se em expansão, à semelhança do que vai acontecendo em países mais desenvolvidos onde a sustentabilidade é um dos aspetos mais relevantes na avaliação da qualidade global das construções. Esta temática também é vista como uma mais-valia que potencia a venda de produtos que se autointitulem de “sustentáveis” em relação aos chamados “convencionais”, expandindo assim o mercado de produtos na construção.

Em suma, um projeto sustentável envolve a redução do aquecimento global recorrendo a uma construção de elevada eficiência energética e servindo-se de técnicas como a avaliação dos custos de ciclo de vida, mantem o equilíbrio entre o investimento inicial e os gastos a longo prazo. Também envolve a conceção de espaços saudáveis, viáveis economicamente, satisfazendo as necessidades sociais das gerações presentes, com mente nas gerações futuras.

3.2.1 VIABILIDADE DA CORTIÇA NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

O setor da construção é responsável pelo consumo de cerca de 30% dos recursos naturais utilizados, detendo assim uma enorme responsabilidade ambiental no nosso planeta. Segundo dados do *Worldwatch Institute*, a atividade de construção de edifícios consome 40% da areia, brita e pedra, 25% da madeira e 16% da água usada anualmente em todo o mundo. Não são apenas as

quantidades de matérias-primas utilizadas que devem ser levadas em conta, mas também a energia consumida na sua extração, processamento, transporte e aplicação em obra.

Outros fatores que não podem ser descurados na escolha do material a utilizar são a emissão de gases poluentes, o seu potencial de reciclagem e reutilização e o impacto que este pode ter nas entidades intervenientes na obra. [2]

Um estudo realizado pela Universidade de Bath permitiu a realização do quadro 7, em que são apresentados diversos materiais de construção com os seus níveis de energia incorporada associados, respetivas emissões de CO₂, quantidade de água utilizada na sua produção, assim como uma classificação da sua durabilidade, reutilização e reciclagem. É de ter em atenção aos valores referentes à cortiça, onde é possível verificar que de uma maneira geral, este material detém consumos e emissões de gases inferiores aos restantes, mantendo uma alta durabilidade e possibilidade de ser reutilizado e reciclado.

Quadro 7 – Quantidade de água utilizada na produção de materiais de construção [2]

Material	PEC - MJ/Kg	EC Kg CO ₂ /Kg	Água l/Kg	Durabilidade	Reutilização	Reciclagem
Cimentos						
Cimento Portland	4,6	0,83	-	Média	-	Sim
Produtos cerâmicos						
Produtos sanitários	29	1,48	-	-	Sim	Sim
Azulejos	9	0,59	400	Muito Alta	Sim	Sim
Telhas	6,5	0,46	640	Média	Sim	Sim
Tijolos	3	0,22	520	Muito Alta	Sim	Sim
Elementos pré-fabricados de betão						
Blocos de 8 MPa	0,6	0,061	190	Média	Sim	Sim
Blocos de 10 MPa	0,67	0,074	190	Média	Sim	Sim
Isolamento						
Celulose	0,94 - 3,3	-	10	Média	-	Sim
Cortiça	4	0,19	24	Alta	Sim	Sim
Lã de vidro	28	1,35	1360	Média	-	Sim
Lã de rocha	16,8	1,05	1360	Média	-	Sim
Poliestireno Expandido	88,6	2,5	-	Média/Baixa	-	Sim
Espuma de Poliuretano	95	3	18900	Média/Baixa	-	-
Poliestireno Extrudido	88,6	2,5	-	Média/Baixa	-	Sim
Aço						
Varões de aço reciclado	8,8	0,42	-	Alta	Sim	Sim
Tubagem	34,44	2,7	3400	-	Sim	Sim
Rochas						
Granito	0,1 - 13,9	0,006 - 0,8	-	Muito Alta	Sim	Sim
Pedra calcária	0,3	0,017	50	Média	Sim	Sim
Mármore	2	0,112	-	Muito Alta	Sim	Sim
Madeira						
MDF	11	0,59	-	-	Sim	Sim
Contraplacado	15	0,81	-	Média/Alta	Sim	Sim

Outros						
Cal (Argamassa)	5,3	0,74	-	Média	-	-
Tinta (uma camada, MJ/m ² e KgCO ₂ /m ²)	10,2	0,53	-	-	-	-
Betume	47	0,48	-	Baixa Média	-	-
Placas de gesso	6,75	0,38	240	Média	Sim	Sim
Tubagens PVC	67,5	2,5	-	Média/Alta	Sim	Sim

A cortiça, para além de ser um produto 100% natural, toda a sua produção é extremamente sustentável e benéfica. A utilização da cortiça no setor da construção, não só promove a formação de mais montados, como leva a que os sobreiros produzam entre 250% a 400% mais cortiça do que o esperado se não fosse explorado, o que consequentemente leva a uma maior fixação da quantidade de CO₂ [24].

Outro aspeto ecológico que relaciona os produtos de cortiça com uma construção sustentável é o caso concreto do aglomerado expandido em que, como já referido, pode ser produzido recorrendo a vapor de água, geradores alimentados pelos próprios resíduos da trituração e acabamentos e utilizar resinas do próprio material para a sua aglomeração.

De referir que o baixo coeficiente de condutibilidade térmica da cortiça (0,035 Kcal/m.h.°C a 0,038 Kcal/m.h.°C) em relação a outros materiais como por exemplo betão em fibras de madeira, alvenaria em tijolo maciço e madeira seca, demonstra ser uma grande vantagem no seu emprego na construção sustentável pois quando utilizada como isolamento térmico de coberturas, paredes e revestimento externo, a cortiça coopera no processo de redução de consumo energético e perdas de calor.

Vários estudos comprovaram que quando aplicada a paredes de alvenaria ou betão, a cortiça não necessita de ser utilizada em espessuras elevadas para se obter um conforto térmico ideal, diminuindo assim o custo da obra e contribuindo para a correção de possíveis pontes térmicas na parede [24].

Os pavimentos em cortiça demonstram que é possível construir pavimentos resistentes e confortáveis que transmitem um “ambiente quente” ao contrário de pavimentos em pedra.

Quanto à sua utilização para funções de isolamento acústico, o aglomerado expandido de cortiça revela-se bastante eficiente pois devido à sua porosidade, absorve parte da energia sonora incidente de forma a reduzir o tempo de reverberação.

A cortiça tem vindo a destacar-se em relação a outros materiais pois apresenta-se como uma aposta mais consciente devido às suas características técnicas, ambientais e potencialidades criativas. Como referido anteriormente, a cortiça apresenta uma estrutura própria que lhe confere propriedades mecânicas e físicas que permitem tirar maior proveito no setor da construção como isolante ou revestimento, com a vantagem de ser natural e ecológico.

3.2.2 REUTILIZAÇÃO E RECICLABILIDADE DA CORTIÇA

A escolha de materiais a utilizar no setor da construção deve ter em conta a sua potencialidade de reutilização e reciclabilidade, sendo um fator que influencia a economia e o meio ambiente.

Após o fim de ciclo de vida de um material, muitas vezes imposto pelo fim da vida útil do próprio edifício, este pode possuir a capacidade de vir a ser utilizado novamente, evitando assim a fabricação de novos produtos a partir de novas matérias-primas.

O conhecimento dessa potencialidade é bastante importante na gestão racional dos recursos visto que a reutilização direta permite uma redução significativa de consumo de energia e evita a descarga de produtos no meio ambiente.

No caso de materiais de construção derivados da cortiça podemos afirmar que existe um grande aproveitamento devido às suas características naturais. Foi verificado que em casos de fim de vida útil de um edifício, é viável a recolha integral de placas de aglomerado expandido, podendo estas vir a ser utilizadas em aplicações idênticas, uma vez que essas placas se apresentam inalteradas (visualmente e propriedades essenciais) mesmo quando retiradas de edifícios com mais de 50 anos. Existem casos em que não é possível realizar essa operação devido a quebras nas placas ou contaminações provenientes de outros produtos, promovendo-se a trituração dando origem a regranulados que após vários processos de limpeza podem ser reutilizados como isolamento térmico ou como inerte no fabrico de betões e argamassas leves.

Os granulados de cortiça quando não misturados, também podem ser reutilizados em enchimentos, no fabrico de aglomerados ou ainda em argamassas.

O linóleo natural pode passar por um processo de compostagem, em que devidamente triturado em pedaços pequenos e na presença de condições adequadas e com certos minerais, sofre uma decomposição devido à ação de microrganismos criando um composto com utilização em jardinagem.

O pó de cortiça resultante das diversas operações de transformação deste material em outros produtos utilizados na construção também poderá servir para a produção de energia, podendo mais uma vez afirmar-se que não há resíduo industrial de cortiça que não seja reutilizado ou de outro modo aproveitado.

O caso dos aglomerados compostos de cortiça utilizados na construção civil podem ser constituídos por vários tipos de resíduos de outros produtos corticeiros, como rolhas usadas ou restos de aglomerados, contribuindo para a reciclabilidade global da cortiça.

É de referir que existem várias iniciativas de reciclagem e recolha de rolhas a nível mundial, cujo destino é maioritariamente para a elaboração de produtos a utilizar na construção civil. Atualmente existe uma iniciativa (*“Green Cork”*) que possui instalações devidamente licenciadas para esse tipo de reciclagem, que no ano de 2009 reciclou mais de 20 milhões de rolhas, não se limitando à transformação das rolhas e sua aplicação noutros produtos, mas também tem como objetivo financiar o reflorestamento utilizando circuitos de distribuição já existentes. Foram criadas muitas outras iniciativas e empresas quer em Portugal (*“Rolhão”* e *“Ação saca-rolhas”*) quer noutros países como Alemanha (*“Korken für Kork”* e *“Korkkampagne”*), Austrália (*“Clean up”*), Bélgica (*“Recycork”*), Espanha (*“Reciclas Corcho, Reciclas vida”*), EUA e Canada (*“ReCork”* e *“CORK Re-Harvest”*), França (*“Recyclage”* e *“EcoBouchon”*) e Itália (*“Tappo a chi?”* e *“Progetto Etico, Amorim Cork Italia”*) que contribuem para um meio ambiente sustentável, reduzindo a produção de resíduos e apoiando a reutilização e reciclagem [25].

Em Portugal, verifica-se uma ausência de políticas governamentais que regulem e promovam a prática da reciclagem e reutilização de resíduos provenientes da construção e demolição. Neste

contexto, as empresas envolvidas nessas atividades, assim como os seus clientes, não são incentivados a priorizar e investir em boas práticas ambientais.

3.3 ESTUDO DO CICLO DE VIDA

O ciclo de vida de um material é um conceito que se relaciona diretamente com a vida útil e a durabilidade do mesmo. A escolha correta de materiais, produtos e tecnologias construtivas a adotar na construção é um fator que pode contribuir consideravelmente para um melhor desempenho ambiental de ciclo de vida de um edifício e dessa forma, da sua sustentabilidade. O ciclo de vida inclui processos como [2]:

- Extração;
- Processamento de matérias-primas;
- Fabricação;
- Transporte e distribuição;
- Utilização;
- Manutenção;
- Reciclagem;
- Reutilização;
- Deposição final.

3.3.1 VIDA ÚTIL E DURABILIDADE

A vida útil referida no âmbito da indústria da construção indica o período de tempo durante o qual as condições de funcionalidade de um edifício e dos seus componentes se mantêm acima de um limite de qualidade, satisfazendo os requisitos mínimos de desempenho a que se destinam. É prática comum ser medida em anos, contabilizados a partir do momento do fim da construção até ao momento em que são detetadas anomalias graves, que colocam a construção num estado limite de deterioração física e comportamental ou quando se demonstra uma rentabilidade económica ou funcional reduzida de toda a construção ou de apenas alguns dos materiais que a constituem.

É possível afirmar que o conceito de durabilidade no setor da construção é entendido como a aptidão que um bem apresenta para cumprir uma função requerida, de acordo com condições de utilização e manutenção especificadas, até atingir um estado limite, podendo este corresponder ao fim de vida útil por inadequação ou por razões técnicas ou económicas [26].

Podemos verificar assim a relação indissociável entre vida útil e durabilidade. É de referir que o desgaste de um edifício ou dos seus componentes, ou mesmo o momento que marca a incapacidade deste executar a sua função não implica o final da sua vida útil. Existem fatores de durabilidade das construções, da facilidade da substituição de um componente e da vida útil de projeto, que dependem do destino e categoria do edifício. Esses fatores devem ser encarados como uma ferramenta de seleção de produtos e materiais, ponderando sobre o seu valor económico em relação ao seu tempo em serviço.

De uma maneira prática, é possível consultar valores mínimos de anos esperados de durabilidade dos diversos produtos e componentes de construção (Quadro 8) e valores médios de anos de vida útil dos elementos que constituem os edifícios, em função do seu tipo de utilização proposta pelo *Principal Guide for Service Life Planning of Japan* (AIJ, 1993) (Quadro 9).

Quadro 8 – Valores mínimos para a durabilidade a produtos e componentes da construção [26]

Vida Útil de Projeto	Elementos estruturais ou Inacessíveis	Elementos cuja substituição se apresenta dispendiosa ou difícil	Elementos facilmente substituídos	Instalações e Equipamentos
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

Quadro 9 – Vida útil de projeto requerida a alguns elementos de construção [26]

Tipo de elemento	Uso do Edifício			
	Habitação	Escritórios	Hospitais	Escolas
Todo o edifício	62	53	55	44
Cobertura Plana	26	24	32	23
Cobertura Inclinada	43	41	46	38
Sistema de fachada	48	42	43	34

Podemos assim concluir que o recurso a materiais mais duráveis na construção, se traduz numa vida útil mais longa da edificação e uma menor necessidade de intervir para reabilitação, substituição e manutenção, o que consequentemente reduz substancialmente os impactes ambientais, exploração de recursos e produção de resíduos.

3.3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A capacidade de um edifício corresponder às exigências e funções que levaram à sua execução, mantendo o seu desempenho ao longo da sua vida útil é condicionada por diversos aspetos que vão surgindo desde a fase de projeto, passando pela fase de construção e terminando na fase de gestão e manutenção, ou seja, durante a sua utilização.

Este processo pode ser compreendido como ciclo de vida do sistema, em que são ponderados valores de investimento na execução da construção, na manutenção, reparação e substituição de componentes e sistemas do edifício [2].

Como já foi referido anteriormente, a utilização adequada de materiais, produtos e tecnologias construtivas pode contribuir significativamente para um melhor desempenho ambiental e sustentável, ou seja, para um ciclo de vida de um edifício mais rentável. Para facilitar essa escolha, foi criada uma metodologia de avaliação do ciclo de vida, uma técnica analítica holística que ajuda entidades reguladoras na formulação da legislação ambiental, assim como os próprios fabricantes a analisar processos de fabrico a nível de energia despendida, tempo e impactes sobre o meio ambiente, de forma a otimizar os mesmos, melhorando as características do produto final.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment* (LCA) é uma ferramenta bastante útil na quantificação de potenciais impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. Traduz-se numa avaliação quantitativa, pois identifica a energia, os materiais consumidos e os resíduos libertados no meio ambiente. Este método pode envolver a criação e implementação de medidas detalhadas referente ao fabrico de produtos, extração de matérias-primas utilizadas na produção e distribuição, reutilização, reciclagem e eventualmente eliminação, de forma a melhorar o desempenho ambiental da construção [27].

Embora este método tenha sido desenvolvido e utilizado há dezenas de anos, só nos finais dos anos 90 é que foi normalizado pela *International Organization for Standardization* (ISO), sendo expostos no presente os seus princípios e enquadramento na norma ISO 14040 e requisitos e diretrizes na norma ISO 14044 [27]. A Avaliação do Ciclo de Vida mede o desempenho ambiental de um material ou produto através de potenciais efeitos como:

- Potencial aquecimento global;
- Destruição do ozono estratosférico;
- Formação de ozono troposférico (*smog*);
- Acidificação do solo e dos recursos hídricos;
- Eutrofização das reservas de água;
- Contribuição para o esgotamento de combustíveis fósseis;
- Consumo de água;
- Libertação de produtos tóxicos.

A Avaliação do Ciclo de Vida é importante em casos em que são apresentadas várias soluções que satisfazem o desempenho necessário, mas que diferem em termos de impactos ambientais, facilitando a escolha da solução a adotar. É estimado que nos casos de edifícios convencionais, o consumo de energia do ciclo de vida na fase de utilização é aproximadamente entre 80% a 94% do consumo total (consumo de energia associado principalmente à climatização), a extração dos materiais, o seu transporte e produção representa cerca de 6% a 20% e a energia consumida em cenários de fim de vida menos que 1%. Com esses consumos em mente, as equipas de projetistas de um edifício devem procurar alternativas mais eficientes em termos energéticos, embora que noutro tipo de construção como por exemplo barragens e pontes, devem priorizar a ecoeficiência dos materiais. No geral, a utilização de fontes de energia menos poluentes e o desenvolvimento da eficiência energética dos edifícios contribui para um maior aproveitamento de cada material, valorizando a fase de produção e de fim de vida [27].

Na área da avaliação da sustentabilidade da construção, a Avaliação do Ciclo de Vida é amplamente reconhecida e tomada como método preferencial na avaliação dos impactos ambientais causados pelos materiais, elementos construtivos e pela globalidade do ciclo de vida de uma construção. Porém, existem ferramentas reconhecidas pela Avaliação do Ciclo de Vida que não são utilizadas pelos intervenientes no ciclo de vida de um edificado devido à sua complexidade e morosidade de execução. Também é verificada alguma inconsistência de critérios entre as ferramentas de avaliação da sustentabilidade da construção e dos sistemas de certificação da sustentabilidade com o método de Avaliação do Ciclo de Vida, o que demonstra ser mais um entrave para a sua utilização [27].

Para solucionar alguns desses problemas de utilização desse método e promover a sua aplicação prática, o processo de quantificação do desempenho ambiental nos sistemas de certificação da

sustentabilidade foi simplificado, tendo um papel importante na implementação da sustentabilidade no setor da construção.

Como forma de homogeneizar e facilitar a interpretação e comparação de resultados entre diferentes métodos de avaliação de sustentabilidade de construção, foi criado em 2005 pelo Centro Europeu de Normalização (CEN) o Comité Técnico 350 (CEN/CT 350), intitulado de “Sustentabilidade dos Trabalhos de Construção”, com o intuito de desenvolver a normalização voluntária para os métodos ligados à avaliação dos aspetos de sustentabilidade de obras de construção novas ou existentes. Para além dessa função, este Comité Técnico é responsável por desenvolver o enquadramento normativo para as Declarações Ambientais de Produto (*Environmental Product Declaration* - EPD) de produtos utilizados na construção [27].

A Avaliação do Ciclo de Vida tem como objetivos primários:

- Caracterização das interações existentes entre o processo em estudo e o meio ambiente;
- Contribuição para uma maior perceção do processo e do seu impacte e consequências ambientais;
- Produção de informações objetivas como energia, materiais consumidos e resíduos libertados, que permitem identificar situações em que é possível efetuar melhorias ambientais no processo [2].

Para além destes objetivos apresentados, a Avaliação do Ciclo de Vida apresenta três variantes principais perante várias fases de ciclo de vida:

- ***Cradle-to-grave*** (do berço ao túmulo), é uma avaliação completa do ciclo de vida que inclui todo o processo desde a fase de extração da matéria-prima (berço) até uma fase final de deposição ou eliminação (túmulo). Nesta avaliação todas as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) são consideradas em todas as fases do ciclo de vida. Figura 21 é um esquema genérico desta variante [28].

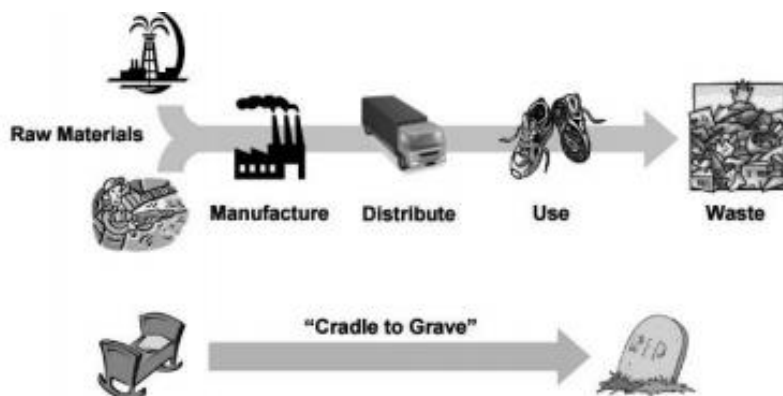


Figura 21 – Exemplo da aplicação da variante Cradle-to-grave [26]

- ***Cradle-to-gate*** (do berço à porta), é considerada uma avaliação parcial do ciclo de vida pois tem início na fase de extração (berço) até ser transportado para o consumidor final (porta). A fase de utilização e eliminação são omissas nesta avaliação. Isto permite a compilação de um inventário de impactes que os recursos produzem até à fase em que são adquiridos para utilização, facilitando a decisão de processos e passos envolvidos no transporte e fabrico. Figura 22 é um esquema exemplificativo desta variante [28].

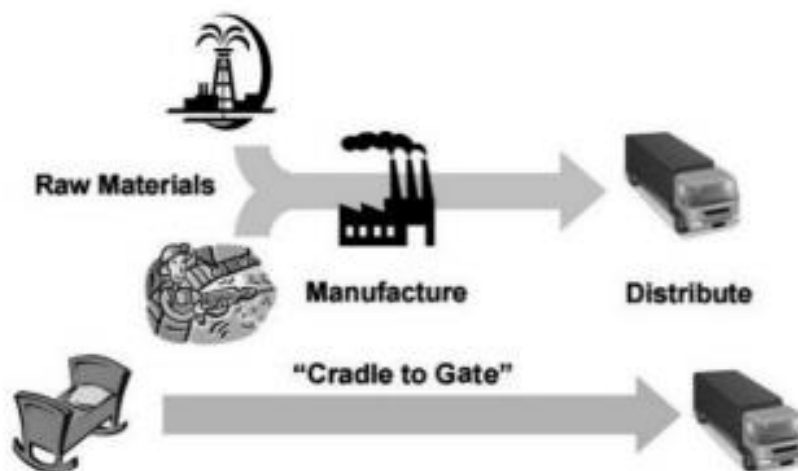


Figura 22 – Exemplo da aplicação da variante Cradle-to-gate [26]

- **Cradle-to-cradle** (do berço ao berço) é um tipo específico de avaliação aplicado desde a fase inicial de extração (berço), focado na fase de deposição ou eliminação, em que esta fase é substituída por uma fase de reciclagem do produto. A partir deste processo são obtidas novas fases (berço) que permitem a obtenção de produtos diferentes ou idênticos. A figura 23 é um esquema modelo desta variante [28].

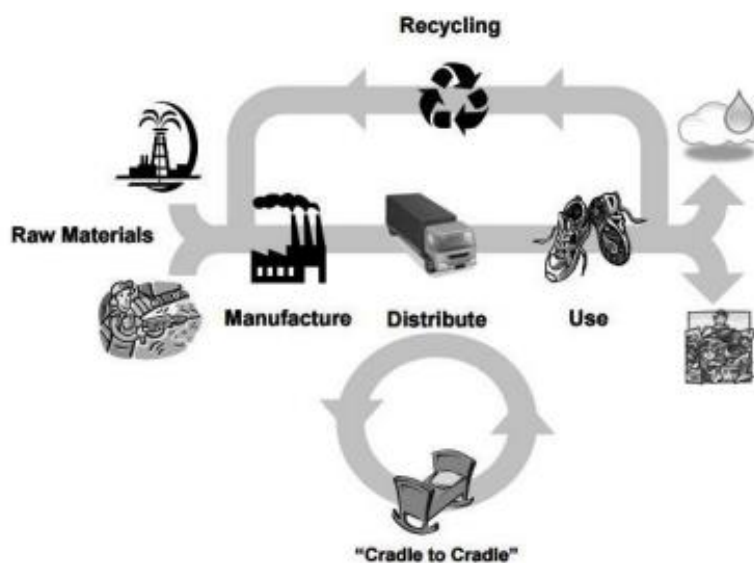


Figura 23 Exemplo da aplicação da variante Cradle-to-cradle [26]

De um modo geral, a variante recomendada a utilizar em atividades ligadas à indústria da construção e reabilitação é a **Cradle-to-cradle**, visto que a reciclagem e reutilização de produtos e materiais valorizam não só o aspeto ambiental mas também o económico e social, facilitando possíveis intervenções no edificado. A reabilitação em si é uma atividade com reduzido impacto ambiental do ciclo de vida em relação à construção de novos edifícios e consequentemente pressupõe-se a utilização este tipo de análise.

No setor da construção, a ferramenta de avaliação de ciclo de vida é aplicada em [2]:

- Avaliação de materiais de construção com o objetivo de melhorar o processo de fabrico, o produto final, fornecendo informações a projetistas e entidades envolvidas na conceção do produto;
- Ferramentas informáticas especializadas na aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida para medições e ensaios comparativos do desempenho ambiental de materiais e componentes ligados ao setor da construção civil;
- Instrumentos de informação para utilização dos projetistas;
- Rotulagem ambiental de produtos, assim como comparação entre produtos para comunicação interna e externa;
- Avaliação e certificação ambiental de edifícios;

A avaliação do ciclo de vida pode ser executada em três níveis de complexidade diferentes e progressivamente mais detalhados, desde aspetos qualitativos a quantitativos [2]:

- **Avaliação do ciclo de vida conceptual** – Análise maioritariamente qualitativa que visa a identificação das fases do ciclo de vida e os impactes mais significativos. A informação obtida facilita o enquadramento de questões relativas ao ciclo de vida a partir de dados qualitativos e generalistas.
- **Avaliação do ciclo de vida simplificada** – Análise que se caracteriza por ser uma avaliação de fácil compreensão pois abrange todo o ciclo de vida do produto de uma forma superficial, recorrendo a informação e critérios genéricos qualitativos e quantitativos, tais como modelos genéricos de transporte e produção de energia, focando-se nos aspetos ambientais mais relevantes;
- **Avaliação do ciclo de vida detalhada** – Um tipo de análise executada de acordo com as normas ISO14040:1997.

3.3.2.1 ETAPAS PARA A REALIZAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

As etapas para a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida definidas segundo as normas *ISO14040* e *ISO14044* passam por quatro fases distintas [27]:

- Definição do Objetivo e do Âmbito;
- Inventário do Ciclo de Vida (estudo dos materiais e identificação e quantificação de consumos e emissões);
- Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida;
- Interpretação de dados.

A figura 24 apresenta um esquema estrutural onde é possível verificar o processo iterativo da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida.

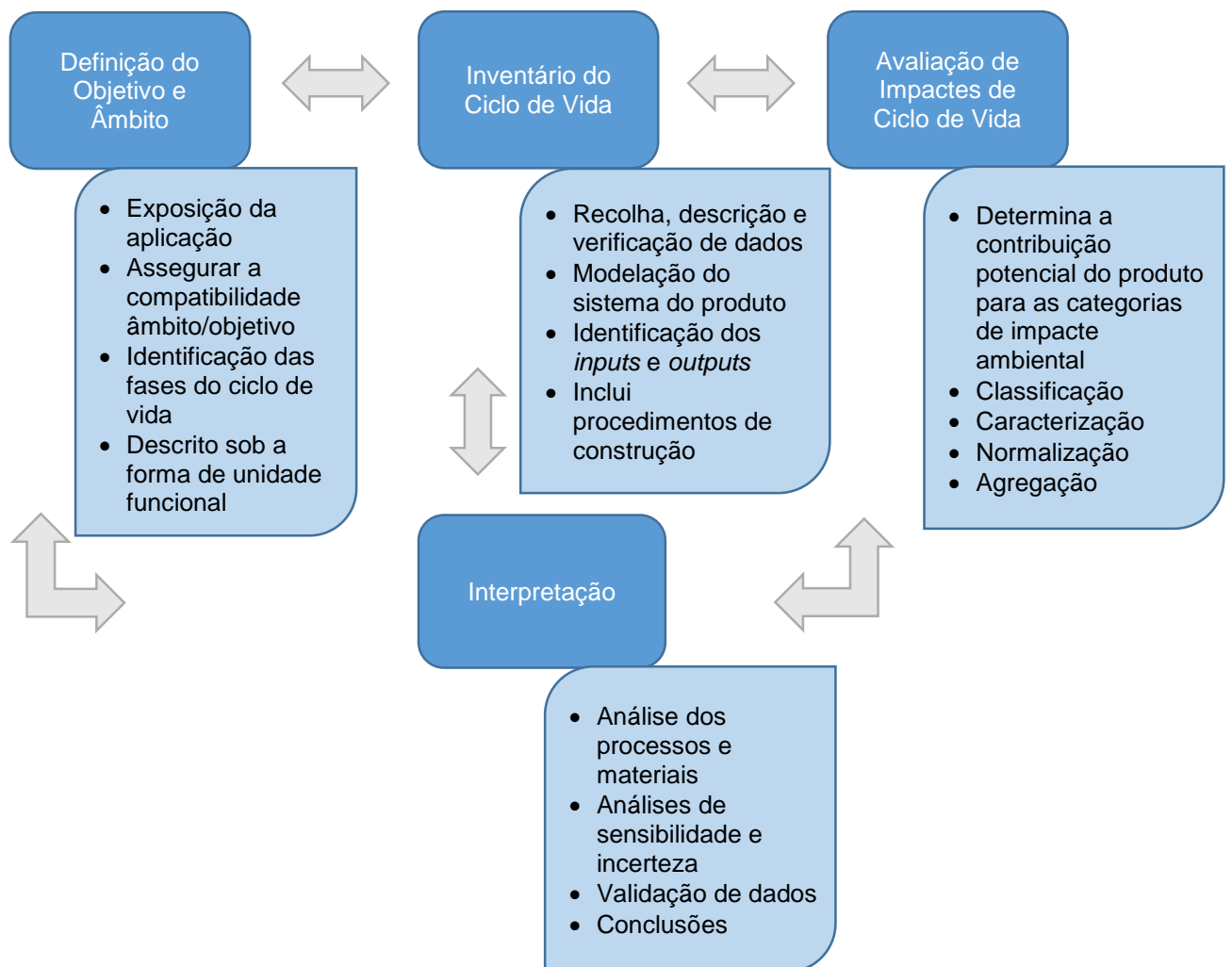


Figura 24 - Fases de implementação da Avaliação do Ciclo de Vida [27]

3.3.2.2 CICLO DE VIDA DA CORTIÇA

De uma maneira geral, podemos considerar que a cortiça, assim como os produtos derivados da mesma, têm um ciclo de vida genérico como o apresentado na figura 25.

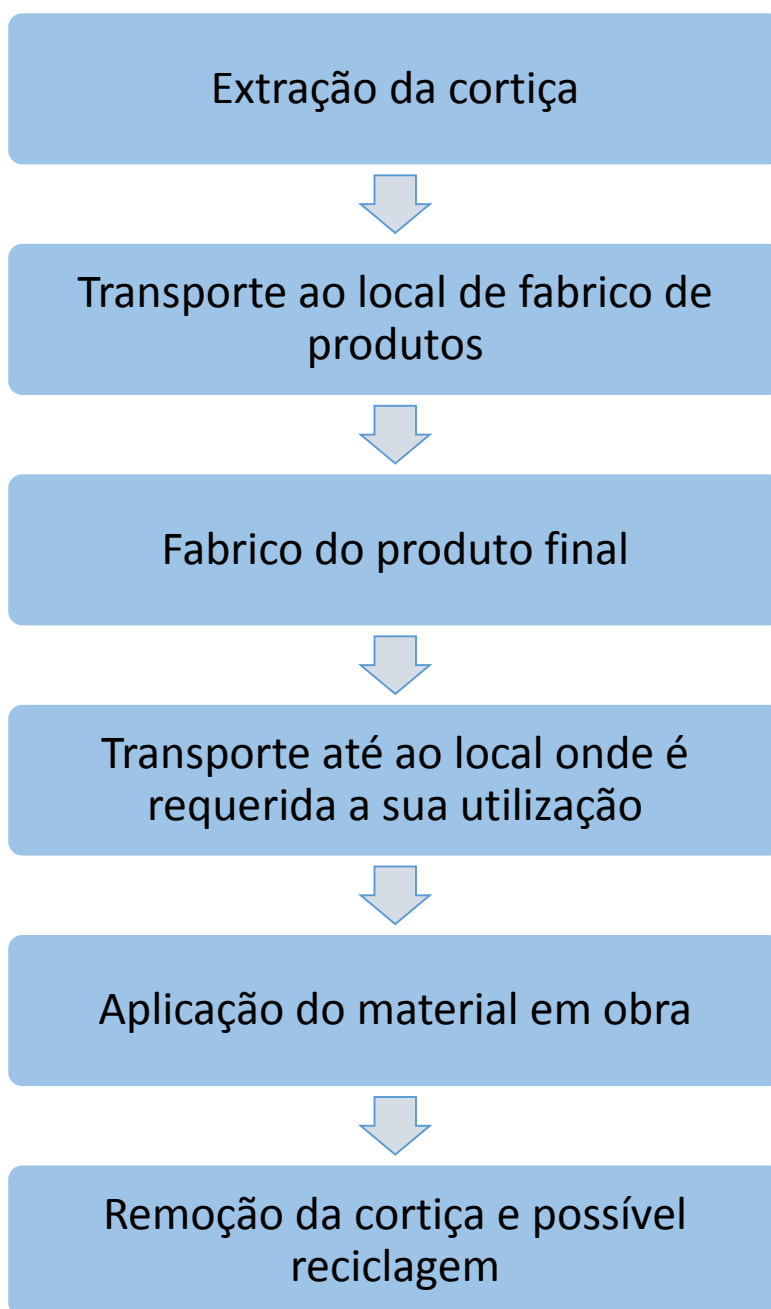


Figura 25 – Ciclo de vida genérico de produtos derivados da cortiça [2]

A cada uma destas fases do ciclo de vida da cortiça e produtos derivados estão associados impactes ambientais que necessitam ser estudados e avaliados para se perceber a viabilidade da utilização da cortiça na construção. É necessário ponderar entre as dimensões desses impactes no meio ambiente, consequências a longo prazo, custos iniciais, custos de manutenção e possível substituição para provar que o material cortiça faz parte de uma construção sustentável.

A fase de fabrico do produto engloba vários processos de transformação do material, que vão variar consoante o estado do material inicial e produto final desejado. A figura 26 apresenta alguns desses processos, assim como materiais utilizados e suas interações.

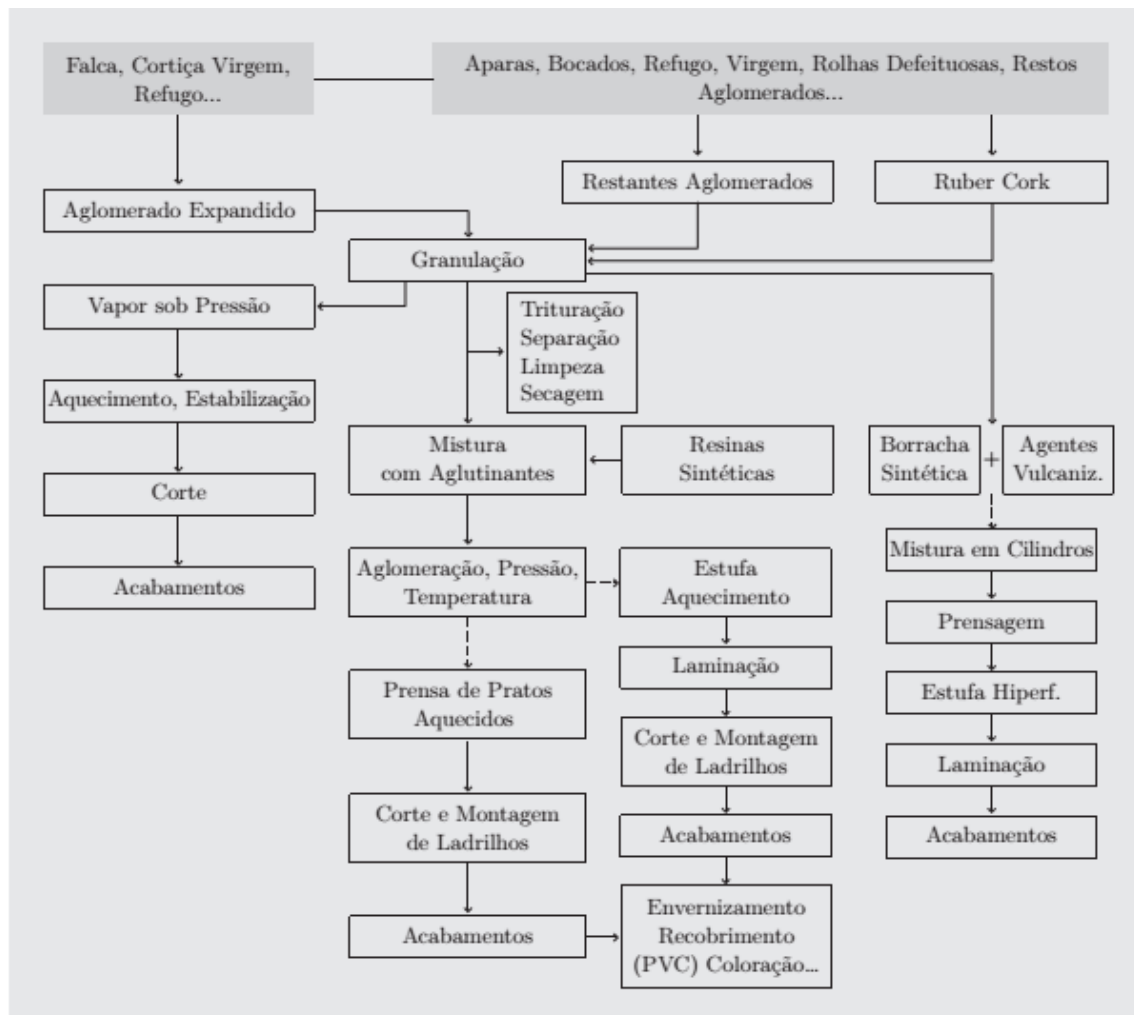


Figura 26 – Esquema de processos usados na produção de produtos de cortiça para a construção [6]

4

Análise de casos práticos (Aplicação da ACV)

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será demonstrada a utilidade da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, mais precisamente na seleção do material mais indicado em termos ambientais a utilizar no setor da construção. Para isso, serão analisados seis casos, semelhantes dois a dois para cada exigência funcional de habitabilidade (uma solução contendo cortiça e outra solução alternativa).

Em seguida, recorrendo a bases de dados acerca dos materiais em questão e aplicando alguns métodos de avaliação de impactos ambientais, serão obtidos indicadores ambientais quantificados que permitirão uma comparação de resultados entre as duas soluções, favorecendo a utilização de um material em relação a outro, a nível ambiental e de uma forma generalizada.

É de referir que as soluções utilizadas foram consultadas em catálogos e tabelas comerciais e que embora sejam considerados casos exequíveis na construção civil, podem nem sempre ser os mais adequados a todo o tipo de habitação e foram escolhidos como meros exemplos para permitir a aplicação da metodologia apresentada no capítulo anterior.

4.2 EXPOSIÇÃO DOS CASOS PRÁTICOS

Os casos práticos serão apresentados aos pares, consoante a sua exigência funcional habitacional em estudo, dividindo-se nas seguintes funções:

- Conforto térmico (Isolamento térmico);
- Conforto acústico (Isolamento acústico).

4.2.1 FUNÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO

As soluções cuja função em causa é o seu valor como isolamento térmico, para permitir a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida de uma forma comparativa, foi necessário consultar as suas características, nomeadamente o valor do coeficiente de transmissão térmica (U), sendo este igual ou muito próximo em ambas as soluções em estudo. O valor de coeficiente de transmissão térmica é calculado com base nos valores de condutibilidade térmica e/ou nos valores de resistência térmica dos materiais existentes em cada solução. Este coeficiente quantifica a maior ou menor facilidade com que cada elemento da envolvente se deixa atravessar pelo calor, isto é, coeficientes baixos traduzem-se em baixas transferências de calor, logo que o material é bom isolante e há pouca quantidade de calor a atravessar o elemento construtivo.

Caso A – Parede dupla exterior (Solução com cortiça)

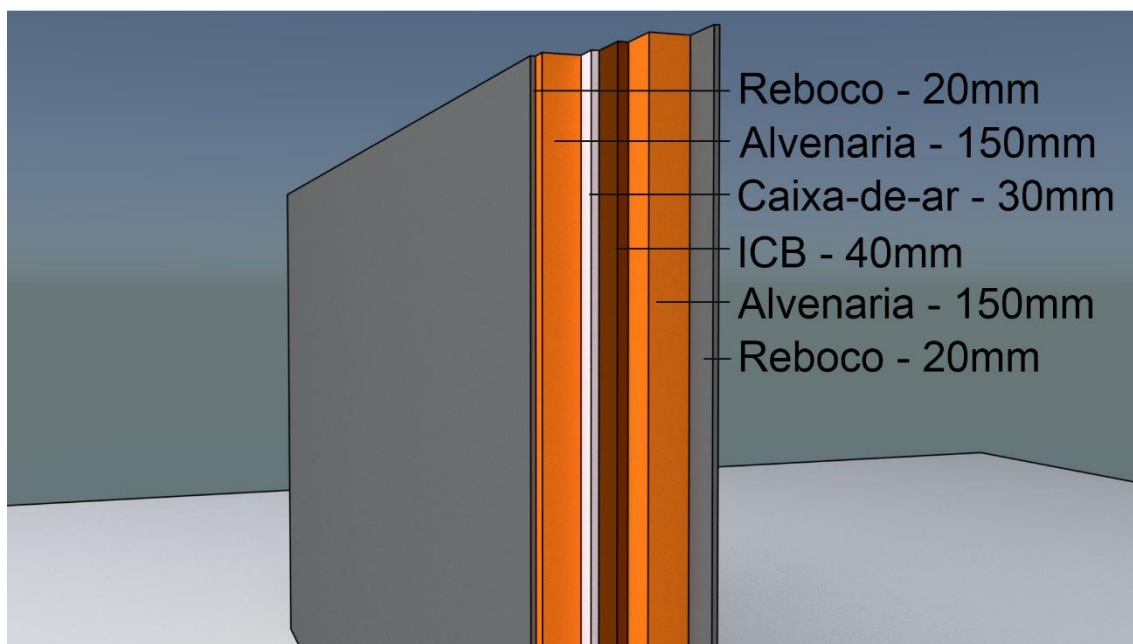


Figura 27 – Esquema 3D da parede dupla do caso A (solução com cortiça)

A figura 27 apresenta uma parede exterior constituída por uma camada de 20mm de reboco; alvenaria de 150mm; uma caixa-de-ar de 30mm; seguida por uma placa com 40mm de ICB (*Insulation Cork Board*) em português aglomerado de cortiça expandida, também conhecido como aglomerado negro de cortiça; alvenaria de 150mm e reboco de 20mm. Por uma questão acústica, as paredes duplas não devem ser constituídas por panos de alvenaria de igual espessura, mas admitiremos esta situação como “exemplo académico”.

Caso B – Parede dupla exterior (Solução alternativa)

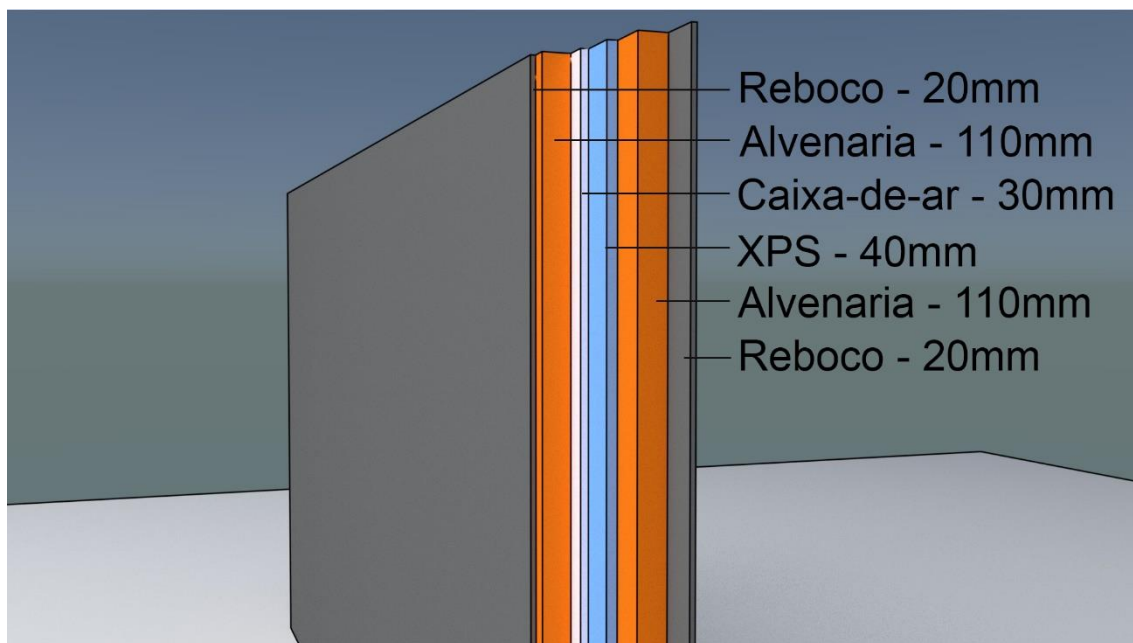


Figura 28 – Esquema 3D da parede dupla do caso B (solução alternativa)

A figura 28 analogamente à figura 27, apresenta um corte transversal na parede exterior em estudo, sendo neste caso constituída por 20mm de reboco; alvenaria 110mm; caixa-de-ar 30mm; XPS (poliestireno expandido extrudido) com 40mm; alvenaria 110mm e reboco 20mm. Assim como a solução do caso A, esta solução também apresenta panos de alvenaria de igual espessura ao contrário do desejado, admitindo estas soluções como “exemplos académicos” devido aos valores iguais de coeficiente de transmissão térmica (U).

Embora os casos sejam bastante semelhantes nos materiais que os constituem, é possível verificar uma diferença na espessura total das paredes assim como o material com função principal de isolante térmico, correspondendo à cortiça no caso A e o poliestireno no caso B.

4.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DOS CASOS A E B

Em seguida apresenta-se no quadro 10 algumas características gerais, térmicas e acústicas do caso A e caso B.

Quadro 10 – Características do caso A e caso B [29]

Caso	Espessura (mm)	Acústica			Térmica		
		Massa superficial (kg/m ²)	Rw, calc (dB(A))	Rw, exp (dB(A))	U (W/m ² .°C)	Massa total (kg/m ²)	Massa Superficial (kg/m ²)
A	410	321,4	58	-	0,50	158,5	150,0
B	330	265,6	55	-	0,50	132,3	132,3

Como o referido anteriormente, as soluções em estudo foram seleccionadas devido ao seu valor de coeficiente de transmissão térmica que se apresenta igual e em cumprimento com o mínimo regulamentar existente no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) sendo os valores do quadro IX.3 *Coefficientes de transmissão térmica de referência* para elementos exteriores em zona corrente e para zonas opacas verticais igual a 0,70 (W/m².°C) para zona climática I1, 0,60 (W/m².°C) para zona I2 e 0,50 (W/m².°C) para a zona I3 [30].

4.2.1.2 AVALIAÇÃO ECONÓMICA DOS CASOS A E B

Os valores de custo total médio dos materiais dos casos em estudo foram estimados com base nos seguintes valores [31][32][33]:

- Alvenarias de tijolo furado de 110mm de espessura – 4,35 €/m²;
- Alvenarias de tijolo furado de 150mm de espessura – 5,70 €/m²;
- Argamassa de reboco – 70,00 €/m³;
- Placa de isolamento XPS de 40mm – 4,48 €/m²;
- Placa de isolamento ICB de 40mm – 8,00 €/m²;

Custo médio dos materiais do **caso A** – 22,20 €/m²

Custo médio dos materiais do **caso B** – 15,98 €/m²

De uma maneira geral, o caso A apresenta um maior custo de aquisição de materiais em relação ao caso B. Isto deve-se principalmente ao custo associado à cortiça em relação ao poliestireno e à diferença de espessura nos panos de alvenaria usado em cada solução, sendo menos espessos no caso B e logo mais baratos. Claro que estes valores são meramente indicativos e existem custos associados à execução da obra e manutenção que não se encontram contabilizados, o que poderiam alterar a decisão da solução mais economicamente viável. Neste caso os custos de execução são semelhantes porque a tecnologia utilizada na execução da parede dupla é a mesma nos dois exemplos.

4.2.2 FUNÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

A aplicação de isolamento acústico em edifícios é uma técnica recorrente que consiste em impedir a passagem/saída de som de um ambiente para o outro, quer entre compartimentos do mesmo edifício ou entre interior do edifício e ambiente exterior. Para que isso seja possível, são utilizados diversos materiais e técnicas que consigam amortecer e dissipar a energia sonora.

Visto que a exigência funcional destes casos recai na sua função como isolamento acústico, o parâmetro a ter em conta na seleção dos mesmos que permite uma equidade na aplicação Avaliação do Ciclo de Vida, é o valor do índice de isolamento sonoro aéreo ou redução sonora (R_w).

Caso C – Parede dupla exterior (Solução com cortiça)

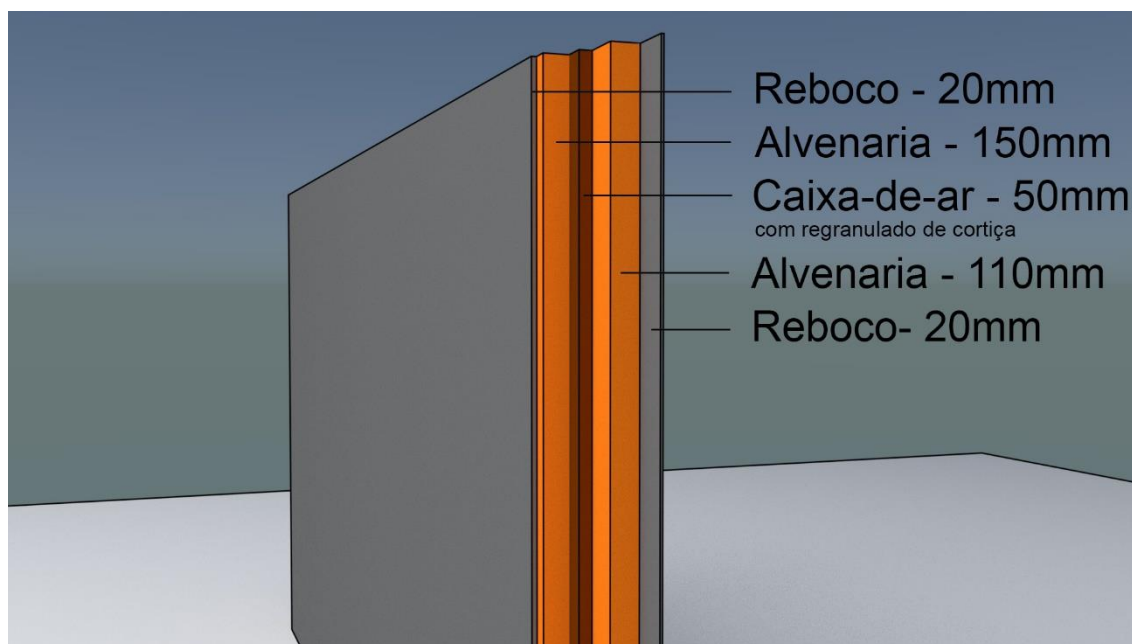


Figura 29 – Esquema 3D da parede dupla do caso C (solução em cortiça)

Na figura 29 é possível observar um esquema 3D do caso C em estudo, uma parede dupla exterior constituída por reboco 20mm; alvenaria 150mm; 50mm de caixa-de-ar com regranulado negro de cortiça; alvenaria de 110m e reboco na face interior com 20mm.

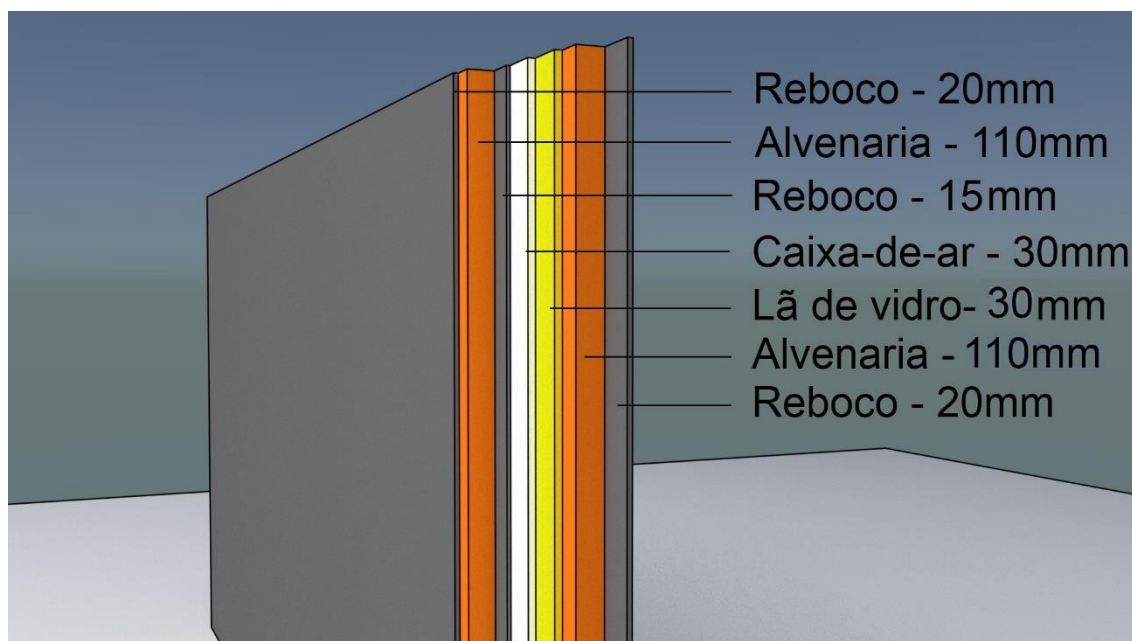
Caso D – Parede dupla exterior (Solução alternativa)

Figura 30 – Esquema 3D da parede dupla do caso D (solução alternativa)

A figura 30 esquematiza a parede em estudo do caso D, constituída por 20mm de reboco na face exterior; alvenaria de 110mm; reboco de 15mm; uma caixa-de-ar de 30mm; lã de vidro de 20mm; alvenaria de 110mm e reboco de 20mm. Esta solução também apresenta panos de alvenaria de igual espessura sendo desaconselhado em paredes duplas, considerando esta situação como “exemplo académico” e utilizada devido à semelhança no valor do índice de isolamento sonoro aéreo com o caso C.

Nestes dois casos são verificadas algumas diferenças nas espessuras e nos materiais constituintes, sendo significativamente notável a diferença de 20mm na espessura na caixa-de-ar e na presença de regranulado de cortiça do caso C e numa camada intermédia de reboco de 15mm e a utilização da lã de vidro no caso D.

4.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DOS CASOS C E D

No quadro 11 são visíveis algumas características gerais, térmicas e acústicas referentes ao caso C e caso D.

Quadro 11 – Características do caso C e caso D [29]

Caso	Espessura (mm)	Acústica			Térmica		
		Massa superficial (kg/m ²)	Rw, calc (dB(A))	Rw, exp (dB(A))	U (W/m ² .°C)	Massa total (kg/m ²)	Massa Superficial (kg/m ²)
C	350	258,2	57	51	0,54	132,3	132,3
D	335	292,3	57	-	0,59	132,3	132,3

É notável que ambos os casos apresentam um valor de índice de isolamento sonoro de 57 dB para a curva A, a mais utilizada para avaliar a pressão acústica perceptível pelo ser humano. Os dois casos cumprem os requisitos mínimos regulamentares exigidos pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

4.2.2.2 AVALIAÇÃO ECONÓMICA DOS CASOS C E D

Os valores de custo total médio dos materiais dos casos em estudo foram estimados com base nos seguintes valores [31][34][35]:

- Alvenarias de tijolo furado de 110mm de espessura – 4,35 €/m²;
- Alvenarias de tijolo furado de 150mm de espessura – 5,70 €/m²;
- Argamassa de reboco – 70,00 €/m³;
- Paineis de Lã Mineral de vidro 40mm – 1,78 €/m²;
- Saco com regranulado de cortiça expandida – 95,00 €/m³;

Custo médio dos materiais do **caso C** – 17,60 €/m²

Custo médio dos materiais do **caso D** – 14,33 €/m²

Mais uma vez a situação que utiliza a cortiça como isolamento (caso C), demonstra um custo superior de aquisição dos seus materiais em relação à solução alternativa (caso D). De referir mais uma vez que este custo é meramente exemplificativo e que para grandes quantidades serão diferentes e não estão contabilizados custos de execução nem manutenção.

4.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Neste estudo, a aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida segue uma abordagem genérica, realizada numa perspetiva *Cradle-to-gate* e baseada nos fundamentos e bases de dados divulgados no livro de Bragança e Mateus [27]. Será estudada toda a solução construtiva, com principal atenção ao material de isolamento (cortiça vs alternativa).

4.3.1 CATEGORIAS DE IMPACTE AMBIENTAL

A quantificação das diversas categorias de impactes ambientais foi realizada com recurso a três métodos intermédios da Avaliação do Ciclo de Vida [27]:

- “CML 2 baseline 2000” (CML, 2001);
- “Cumulative Energy Demand” (Frischknecht, Jungbluth, Althaus et, 2003)
- “IPCC 2001 GWP” (CC, 2001).

As diferentes categorias ambientais abordadas nesta análise são apresentadas no quadro 12.

Quadro 12 – Categorias de impacto ambiental utilizadas neste estudo [26]

Categorias de Impacte Ambiental		Descrição	Unidade
ADP	Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	Avaliação da preservação dos ecossistemas e exploração de recursos naturais existentes na terra, mar ou atmosfera, incluindo combustíveis fósseis	Kg Sb eq
GWP	Alterações Climáticas	Análise da emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera para um horizonte de tempo de 100 anos (GWP100) e incorpora a escala temporal para remoção da substância da atmosfera.	Kg CO ₂ eq
ODP	Potencial de destruição da camada de ozono	Avalia a quantidade de radiação UV-V que atinge a superfície terrestre e destrói a camada de ozono estratosférico, com vários impactes incluindo a afetação da durabilidade e desempenho dos materiais de construção	Kg CFC-11 eq
AP	Potencial de acidificação	Avalia a quantidade de emissões de amónia (NH ₃), dióxido de enxofre (SO ₂) e óxido de azoto (NO _x) que se convertem em compostos acidificantes, formando partículas ácidas ou chuvas ácidas.	Kg SO ₂ eq
POCP	Potencial de formação de ozono troposférico	Avalia a oxidação fotoquímica, resultante da ação da radiação ultravioleta sobre óxidos de azoto (NO _x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV's).	Kg C ₂ H ₄ eq
EP	Potencial de eutrofização	Associado às emissões de azoto (N) e fósforo (P), resultando em fertilização excessiva de ecossistemas.	Kg PO ₄ eq
ENR	Energia não-renovável incorporada	Avaliação do contributo do ciclo de vida do produto para o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis, através da análise do consumo de energia não renovável, fóssil e nuclear.	MJ eq
ER	Energia renovável incorporada	Avalia a utilização de energia renovável em detrimento de fontes não renováveis associado às fases do ciclo de vida do produto, sendo um indicador com impacte ambiental positivo.	MJ eq

4.3.2 INDICADORES DE IMPACTES AMBIENTAIS

Tendo em conta esses parâmetros, é possível retirar valores de quantificação de impactes ambientais associados à produção de 1kg de cada material. Os valores traduzem os impactes numa fase do “berço ao portão” (*Cradle-to-gate*). Apenas serão apresentados no quadro 13 dados referentes a materiais utilizados nos casos em estudo.

Quadro 13 – Indicadores de impactes ambientais por categoria associados à produção de 1kg de material, adaptado de [27]

Materiais	Fase do ciclo de vida	Categorias de impacte ambiental da ACV					Energia Incorporada		
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Argamassa de cimento (Reboco)	Cradle-to-gate	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
Cortiça		1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
Lã de vidro		1,43E-02	1,50E+00	2,15E-07	6,42E-03	5,57E-04	1,18E-03	4,50E+01	4,14E+00
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)		4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
Tijolo cerâmico		1,18E-03	2,20E-01	1,58E-08	5,48E-04	4,00E-05	6,71E-05	2,58E+00	2,55E-01

É visível no quadro 13 que a produção de 1kg de material de cortiça apresenta valores de impacte ambiental e consumo de energia menores comparativamente à produção de 1kg de material dos outros materiais de isolamento (lã de vidro e XPS).

4.3.3 PRINCÍPIOS ADOTADOS PARA A QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES DE CICLO DE VIDA

Visto que neste estudo é pretendido avaliar soluções construtivas ao nível da sua viabilidade ambiental, será necessário recorrer à quantificação dos valores referentes às categorias de impacte ambiental. Para esse efeito, após definida a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida e exposição dos materiais constituintes dos casos em estudo, serão analisados os dados de modo a obter resultados referentes à escolha do material de isolamento ambientalmente mais viável.

Os cálculos dos indicadores de impactes ambientais de cada caso só é possível transformando os valores de cada material para a mesma unidade funcional, recorrendo à multiplicação do indicador pela unidade funcional.

O peso total por unidade funcional de material dependerá da massa volúmica e da espessura a aplicar de matéria. É de referir mais uma vez que nesta análise apenas serão calculados os valores de impactes ambientais associados à fase *cradle-to-gate* [26].

4.3.4 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS DOS CASOS PRÁTICOS

Como referido anteriormente, para a aplicação do método de Avaliação do Ciclo de Vida os materiais têm de ser convertidos. A base de dados dos materiais de construção utilizados apresentam as categorias de impactes ambientais por 1kg de material, logo é necessário recorrer às respetivas conversões de modo que no processo de cálculo estas categorias se apresentem por m² de área útil de construção.

O quadro 14 apresenta as características dos materiais utilizados, assim como as respetivas conversões. É verificado que para a mesma unidade funcional, a cortiça apresenta uma massa (kg) consideravelmente superior em relação aos outros materiais de isolamento.

Quadro 14 – Conversão da massa volúmica dos materiais utilizados na unidade funcional
[26][33][35][36][37]

Materiais	Massa Volúmica (ρ)	Espessura	Unidade funcional
	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Argamassa de cimento (Reboco)	2000	0,02	40,00
Cortiça (ICB)	115	0,04	4,6
Cortiça (regranulado de cortiça expandida)	65	0,05	3,25
Lã de vidro	16	0,04	0,64
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	40	0,04	1,60
Tijolo cerâmico	670	0,15	100,5
	650	0,11	71,5

4.3.4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS DAS SOLUÇÕES COM FUNÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO (CASO A E B)

Após a conversão dos dados referentes aos materiais em utilização à unidade funcional, é possível proceder às respetivas correções de cada um dos indicadores de impacto ambiental para cada material, obtendo os valores totais para cada solução como é visível no quadro 15.

Quadro 15 – Quantificação das categorias de impacto ambiental por m² de material na fase *cradle-to-gate*
(Caso A e B)

Caso	Materiais	Categorias de impacto ambiental da ACV						Energia Incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
A	Argamassa de cimento (Reboco)	3,92E-02	1,56E+01	6,40E-07	2,52E-02	1,03E-03	3,90E-03	1,05E+02	1,68E+01
	Cortiça (ICB)	4,78E-02	-3,01E+00	4,26E-07	2,48E-02	2,09E-03	3,03E-03	1,15E+02	1,25E+02
	Tijolo cerâmico	2,37E-01	4,42E+01	3,18E-06	1,10E-01	8,04E-03	1,35E-02	5,19E+02	5,13E+01
	Total	3,24E-01	5,68E+01	4,24E-06	1,60E-01	1,12E-02	2,04E-02	7,39E+02	1,93E+02
B	Argamassa de cimento (Reboco)	3,92E-02	1,56E+01	6,40E-07	2,52E-02	1,03E-03	3,90E-03	1,05E+02	1,68E+01
	Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	6,54E-02	1,54E+01	2,62E-04	2,45E-02	1,36E-03	1,90E-03	1,48E+02	1,63E+00
	Tijolo cerâmico	1,69E-01	3,15E+01	2,26E-06	7,84E-02	5,72E-03	9,60E-03	3,69E+02	3,65E+01
	Total	2,73E-01	6,24E+01	2,65E-04	1,28E-01	8,11E-03	1,54E-02	6,22E+02	5,49E+01

4.3.4.2 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS DAS SOLUÇÕES COM FUNÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO (CASO C E D)

O referido no ponto 4.3.4.1 é aplicado, apenas que neste ponto serão abordados os dados e cálculos referentes aos casos C e D, com função de isolamento acústico no quadro 16.

Quadro 16 – Quantificação das categorias de impacto ambiental por m² de material na fase *cradle-to-gate* (Caso C e D)

Caso	Materiais	Categorias de impacto ambiental da ACV						Energia Incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
C	Argamassa de cimento (Reboco)	3,92E-02	1,56E+01	6,40E-07	2,52E-02	1,03E-03	3,90E-03	1,05E+02	1,68E+01
	Cortiça (Regranulado)	3,38E-02	-2,13E+00	3,01E-07	1,75E-02	1,48E-03	2,14E-03	8,16E+01	8,84E+01
	Tijolo cerâmico	2,03E-01	3,78E+01	2,72E-06	9,43E-02	6,88E-03	1,15E-02	4,44E+02	4,39E+01
	Total	2,76E-01	5,13E+01	3,66E-06	1,37E-01	9,39E-03	1,76E-02	6,30E+02	1,49E+02
D	Argamassa de cimento (Reboco)	5,39E-02	2,15E+01	8,80E-07	3,47E-02	1,42E-03	5,36E-03	1,44E+02	2,31E+01
	Lã de vidro	6,86E-03	7,20E-01	1,03E-07	3,08E-03	2,67E-04	5,66E-04	2,16E+01	1,99E+00
	Tijolo cerâmico	1,69E-01	3,15E+01	2,26E-06	7,84E-02	5,72E-03	9,60E-03	3,69E+02	3,65E+01
	Total	2,30E-01	5,36E+01	3,24E-06	1,16E-01	7,41E-03	1,55E-02	5,35E+02	6,16E+01

4.3.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a fase de cálculo dos valores de índices de impactos ambientais associados a cada material e consequentemente a cada caso prático, será necessário realizar uma comparação de resultados, de forma a retirar informações sobre o melhor isolamento a aplicar a nível de desempenho ambiental, ou seja, o material que apresente baixo impacto ambiental.

4.3.5.1 CASO A E B (ISOLAMENTO TÉRMICO)

Os impactos ambientais referentes a cada solução construtiva e em particular ao seu isolamento térmico (ICB e XPS) serão comparados e analisados graficamente para uma melhor perceção dos valores obtidos. Há que ter em conta que no caso A serão considerados 4,6 kg de cortiça (ICB) por m², enquanto que no caso B apenas 1,6 kg de poliestireno (XPS) por m².

Embora a energia incorporada englobe a energia não renovável (ENR) e a energia renovável (ER), é do interesse ambiental soluções de baixo consumo de energias não renováveis, visto que esta recorre a recursos naturais que não podem ser repostos pelo Homem nem pela Natureza, podendo chegar à sua extinção. Conforme os resultados apresentados na figura 31, o caso prático que apresenta um menor consumo de energia não renovável é o caso B, mas analisando apenas o material de isolamento térmico de cada solução, é visível um menor consumo por parte do aglomerado de cortiça expandida em relação ao poliestireno expandido extrudido.

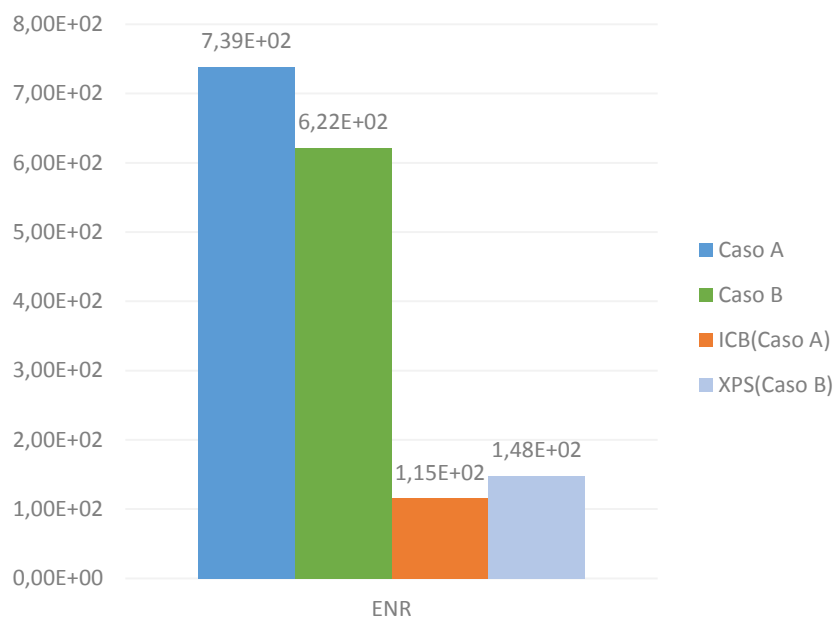


Figura 31 – Valores obtidos para a Energia Não Renovável (Caso A e B)

No caso da energia renovável, não é tão prejudicial para o ambiente soluções que apresentem maiores percentagens de consumo deste tipo de energia pois é proveniente de recursos naturais como o sol, vento e chuva, promovendo a sustentabilidade do planeta. Consultando a figura 32, constatamos que o caso A, assim como o isolamento térmico que o compõe (ICB), apresentam valores significativamente maiores do que os do caso B e respetivo isolamento alternativo.

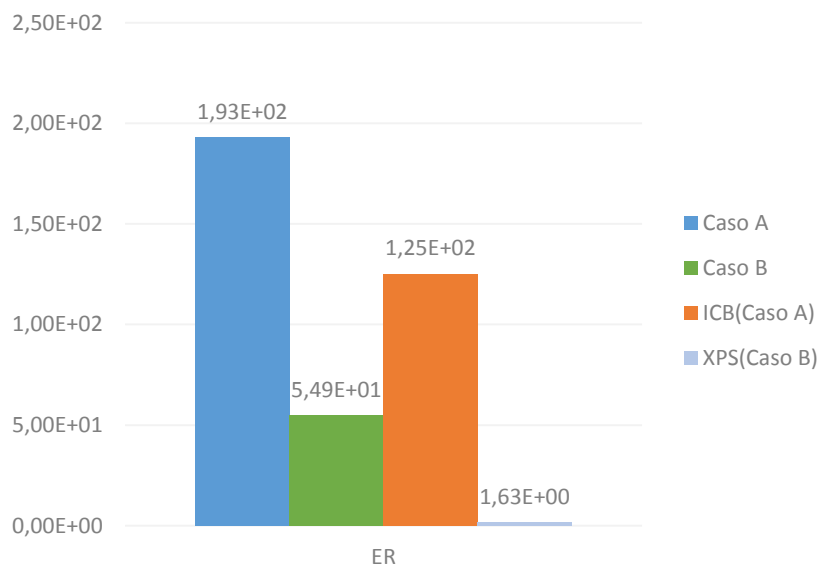


Figura 32 – Valores obtidos para a Energia Renovável (Caso A e B)

Um dos impactes ambientais mais preocupantes da atualidade é referente às alterações climáticas devido ao aquecimento global (GWP). Analisando a figura 33, é possível verificar que o caso A é o que apresenta o menor valor, sendo o mais adequado ambientalmente. Acerca do material de isolamento, o aglomerado de cortiça expandida apresenta valores negativos, uma vez que capta CO₂.

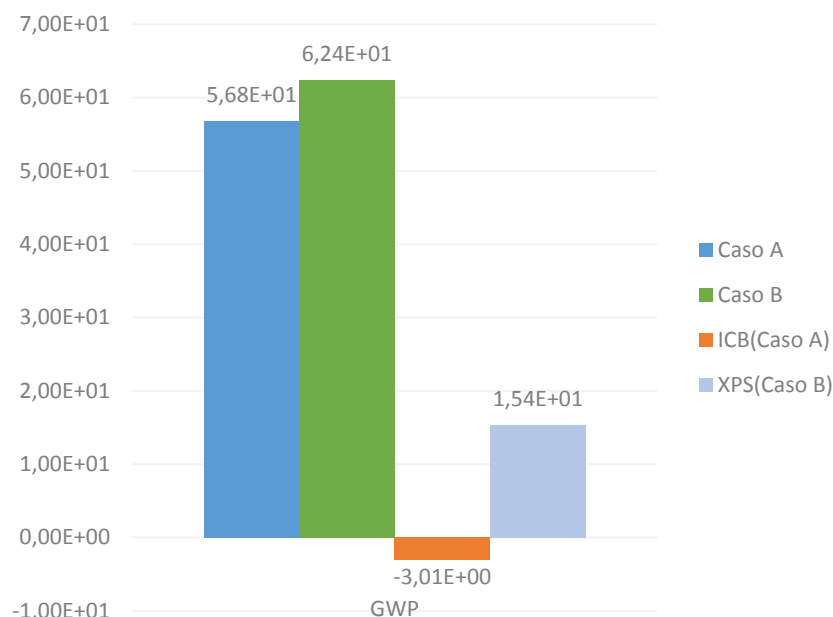


Figura 33 – Valores obtidos para o impacto de Alterações Climáticas (Caso A e B)

Outro impacto bastante relevante é o potencial de formação de ozono troposférico (POCP), sendo um dos poluentes atmosféricos mais graves na Europa. Níveis elevados de ozono são extremamente prejudiciais para a saúde dos seres vivos, assim como para a produtividade de culturas agrícolas, alterações na biodiversidade e danos materiais [27]. Desta forma, é imperativo a minimização deste impacto, sendo o caso B e o seu isolamento (poliestireno expandido extrudido) os que apresentam os valores mais baixos desse impacto ambiental como é visível na figura 34. Convém referir que a diferença entre os valores do caso A e caso B é influenciada pelas diferenças na constituição das paredes, nomeadamente na espessura da alvenaria. A massa (kg) muito superior da cortiça em relação ao poliestireno é determinante nos resultados obtidos.

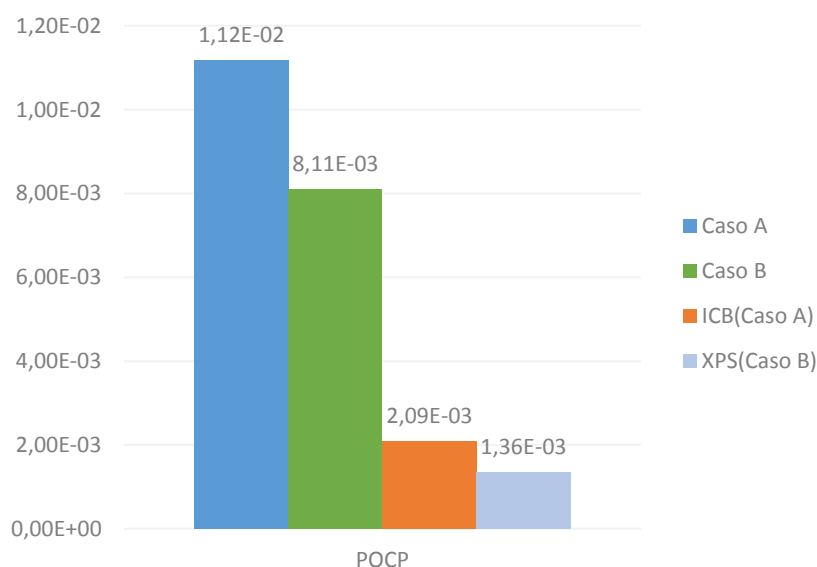


Figura 34 – Valores obtidos para Potencial de formação de ozono troposférico (Caso A e B)

O impacto de potencial de destruição da camada de ozono (ODP), é um valor que como o nome indica, traduz-se na destruição da camada de ozono proveniente de diferentes gases em quilogramas equivalentes de triclourofluormetano (CFC-11) por quilograma de emissão. Com a destruição da camada de ozono, a quantidade de radiação de UV-V que atinge a superfície terrestre aumenta, danificando a vida dos seus habitantes e interferindo com o equilíbrio de ecossistemas. A figura 35 é elucidativa na medida que apresenta valores bastante reduzidos para o caso A em relação ao caso B, devendo-se ao material utilizado como isolamento térmico, o aglomerado expandido de cortiça, que por sua vez também apresenta um valor bastante reduzido de emissões de gases prejudiciais à camada de ozono.

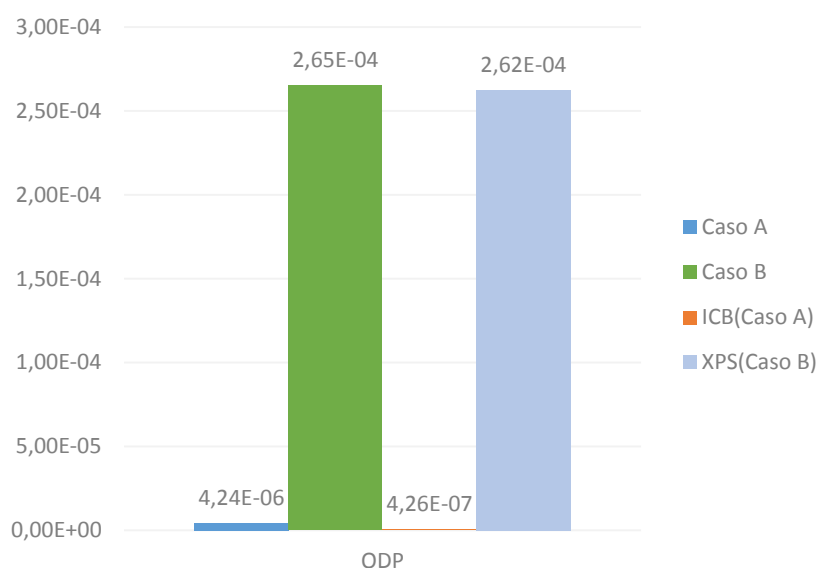


Figura 35 – Valores obtidos para Potencial de destruição da camada de ozono (Caso A e B)

Os restantes indicadores referem-se à disponibilidade decrescente dos recursos naturais pelo indicador de potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), entendendo-se por recursos naturais os minerais e materiais encontrados na terra, mar ou atmosfera, incluindo combustíveis fósseis; o seguinte indicador demonstra o potencial de acidificação (AP), avaliando o processo onde as emissões para o ar são convertidas em substâncias ácidas; o último indicador apresenta o potencial de eutrofização (EP), traduzindo-se por todos os impactos devidos a níveis excessivos de macronutrientes causados por emissões de nutrientes para o ar, água e solos, podendo levar à extinção de espécies. Nestas três categorias, será favorável a solução com menor valor, ou seja, com menores emissões. De uma maneira geral e consultando a figura 36, o caso B é a escolha de menor impacto de ADP, AP e EP. Relativamente ao material de isolamento, é visível que a cortiça emite uma menor ameaça para a diminuição das reservas de recursos abióticos, mas o poliestireno apresenta valores semelhantes na categoria de potencial de acidificação e um valor inferior de potencial de eutrofização. Em questão de ponderação entre os valores obtidos de impacto ambiental por cada material de isolamento (aglomerado de cortiça expandida e poliestireno expandido extrudido) e considerando a diminuição de reservas de recursos abióticos (ADP) ligeiramente mais gravoso em relação aos outros dois apresentados neste parágrafo, conclui-se que o aglomerado de cortiça expandida seja uma melhor escolha ambiental em relação ao poliestireno expandido extrudido.

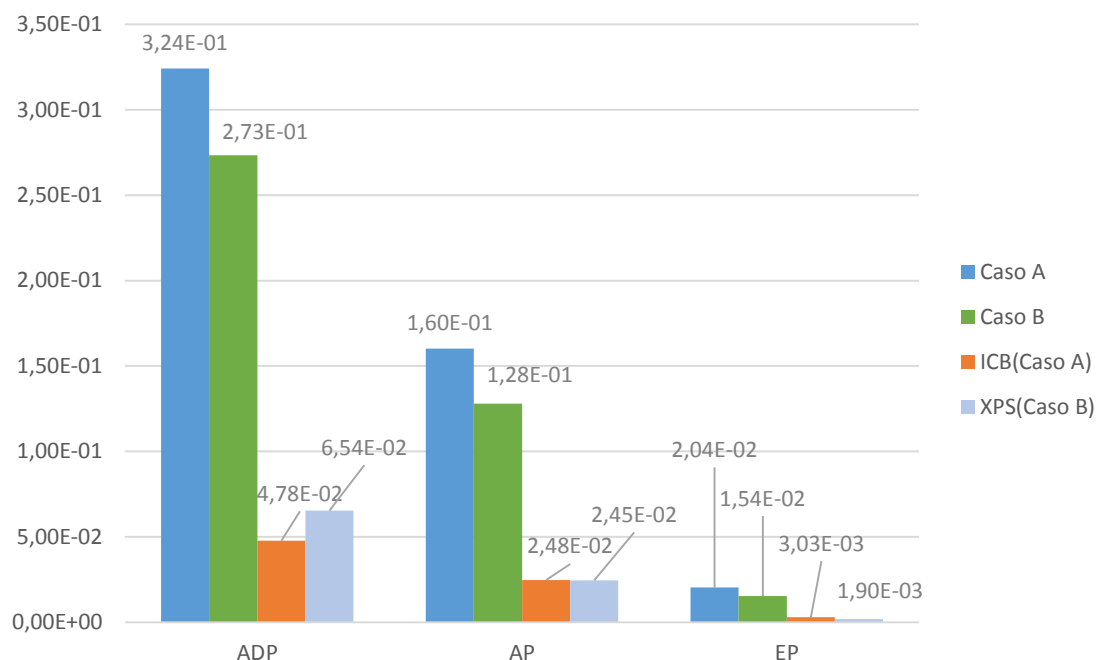


Figura 36 – Valores obtidos para Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), Potencial de acidificação (AP) e Potencial de eutrofização (EP) (Caso A e B)

4.3.5.2 CASO C E D (ISOLAMENTO ACÚSTICO)

Os impactos ambientais referentes a cada solução construtiva e em particular ao seu isolamento acústico (regranulado de cortiça e lã de vidro) serão comparados e analisados graficamente para uma melhor percepção dos valores obtidos. Há que ter em conta que no caso C serão considerados 3,25 kg de cortiça (regranulado) por m², enquanto que no caso D apenas 0,64 kg de lã de vidro por m².

Analogamente ao referido no ponto 4.3.5.1, os casos e materiais mais eficientes ambientalmente serão aqueles que apresentem os menores valores de impacto, excluindo o caso do consumo de energias renováveis, considerando esse impacto positivo para o ambiente.

O primeiro impacto em estudo será o consumo de energias não renováveis (ENR), que analisando a figura 37, é considerado o caso D e o material de isolamento acústico lã de vidro como as melhores soluções a adotar para uma solução menos prejudicial do ambiente.

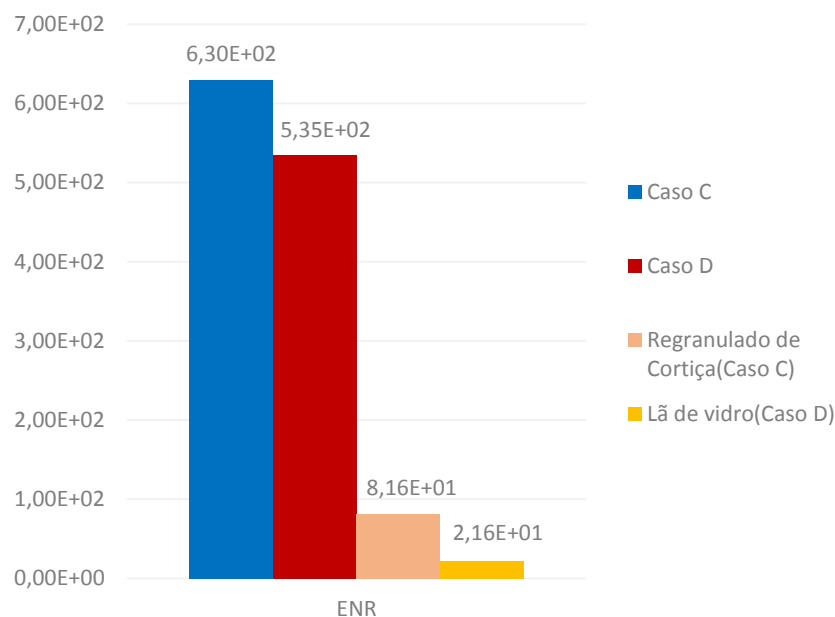


Figura 37 – Valores obtidos para a Energia Não Renovável (Caso C e D)

Para valores de energias renováveis (ER), a figura 38 demonstra que o caso C e o regranulado de cortiça expandida apresentam uma maior percentagem de consumo deste tipo de energia, logo uma melhor opção ambiental em relação ao caso D e à lã de vidro.

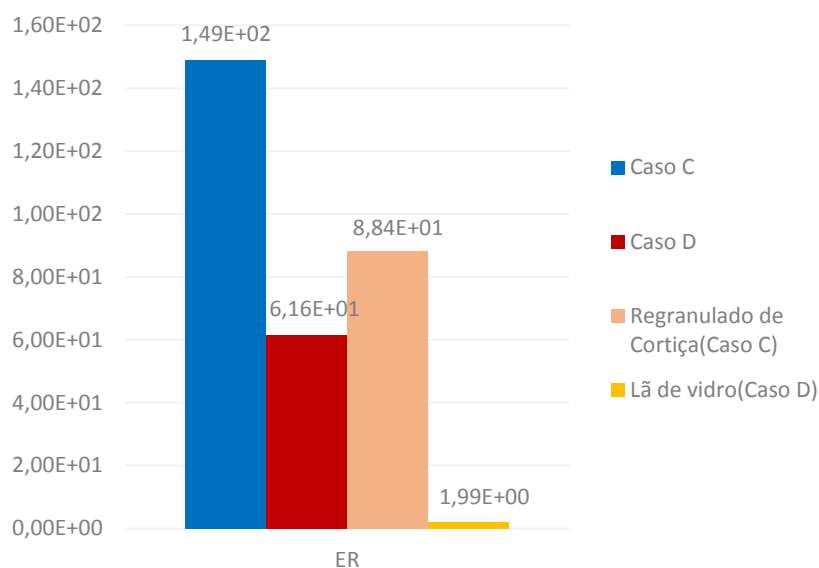


Figura 38 – Valores obtidos para a Energia Renovável (Caso C e D)

No impacto ambiental referente às alterações climáticas devido ao aquecimento global (GWP), mais uma vez o caso C e o regranulado de cortiça expandida obtêm valores inferiores (e no caso da cortiça considerado benéfico para o ambiente) em relação à solução alternativa como é possível verificar na figura 39, sendo a opção ambientalmente favorável.

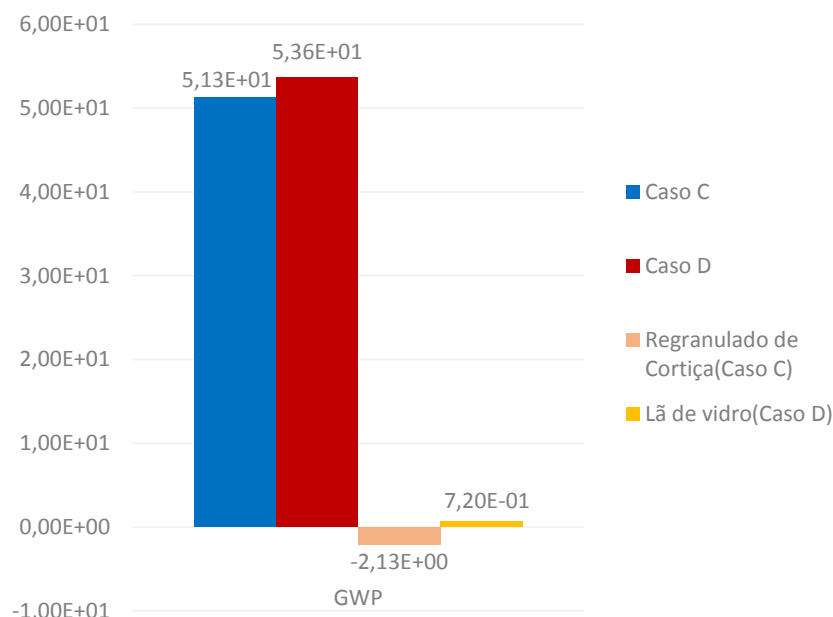


Figura 39 – Valores obtidos para o impacto de Alterações Climáticas (Caso C e D)

Relativamente ao potencial de formação de ozono troposférico (POCP), a figura 40 indica o caso D assim como a lã de vidro como as opções menos prejudiciais ao meio ambiente, apresentando valores inferiores de impacto ambiental em relação ao caso C e ao material regranulado de cortiça expandida. Convém referir que a diferença entre os valores do caso C e caso D é influenciada pelas diferenças na constituição das paredes, nomeadamente na espessura da alvenaria. A massa (kg) muito superior da cortiça em relação à lã de vidro é determinante nos resultados obtidos.

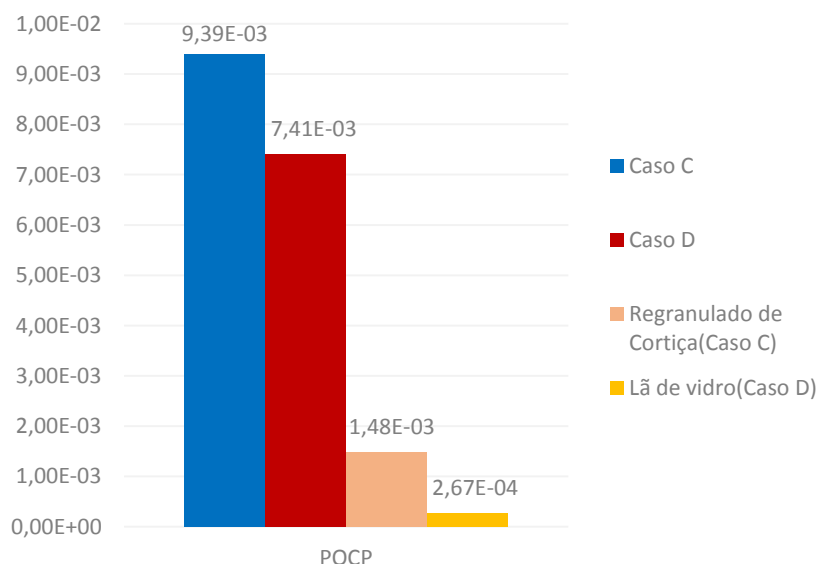


Figura 40 – Valores obtidos para Potencial de formação de ozono troposférico (Caso C e D)

Acerca do potencial de destruição da camada de ozono (ODP), na figura 41 é possível verificar que o caso D e o material de isolamento acústico utilizado nessa mesma solução, a lã de vidro,

apresentam os valores mais baixos de impacto ambiental, sendo considerados os mais viáveis em relação a este impacto. Mais uma vez convém chamar à atenção na diferença da espessura das alvenarias das soluções e na diferença de massa (kg) entre os dois isolantes.

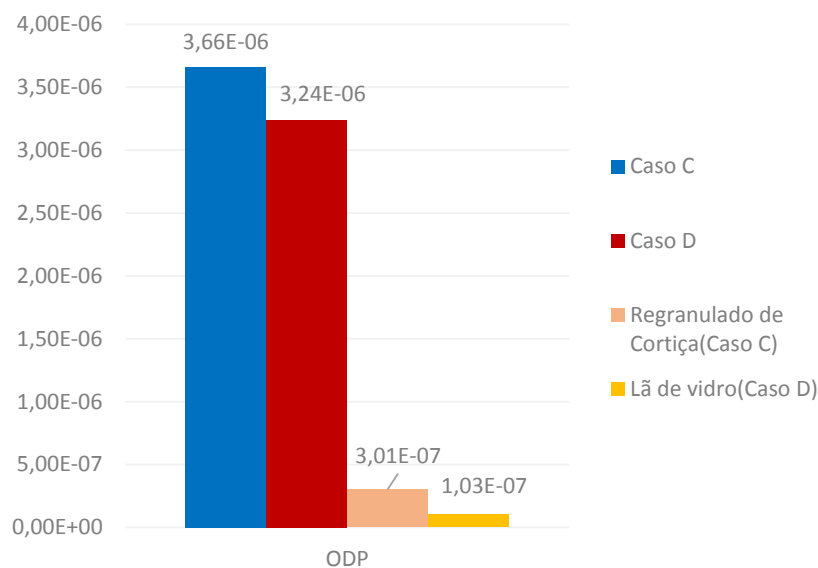


Figura 41 – Valores obtidos para Potencial de destruição da camada de ozono (Caso C e D)

Nos três impactos finais, potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), potencial de acidificação (AP) e potencial de eutrofização (EP), a solução que se apresenta com valores inferiores e assim, considerada a melhor solução nestas categorias, é a solução do caso D, assim como o material lã de vidro como é conferido na figura 42.

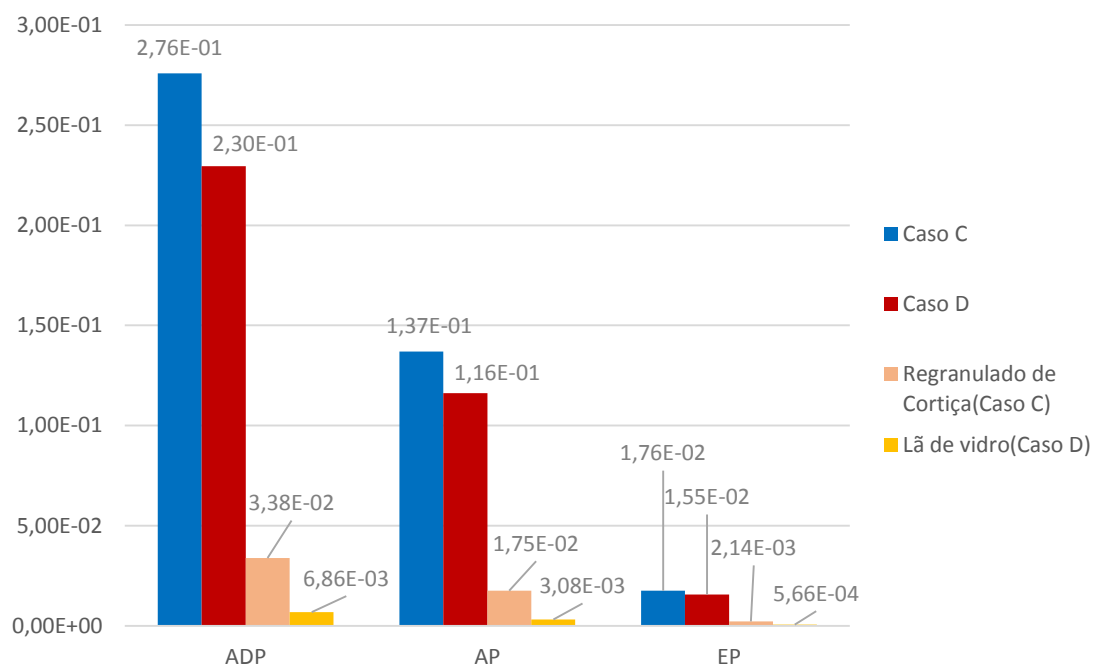


Figura 42 – Valores obtidos para Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), Potencial de acidificação (AP) e Potencial de eutrofização (EP) (Caso C e D)

4.3.6 CONCLUSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a realização dos cálculos e respetivas comparações entre os resultados obtidos para os diferentes casos das diferentes funções em estudo (função de isolamento térmico e isolamento acústico), é possível afirmar qual a solução mais viável ambientalmente para cada função. Compilando no quadro 17 de uma forma geral todos os impactes em estudo, assim como assinalado a verde qual o caso e material mais viável em cada, conclui-se que ambas as soluções que recorrem à cortiça como material isolante, caso A e caso C, não se apresentam como as “favoritas” a serem utilizadas, tendo obtido valores mais favoráveis as suas alternativas, caso B e D. Quando analisado apenas o material de isolamento, na função térmica é visível que a cortiça apresenta valores de impacte ambiental inferiores ao do poliestireno, demonstrando o seu potencial para uma construção sustentável. Nos valores referentes aos materiais de isolamento acústico, a lã de vidro aparenta ser o melhor material. É preciso ter em consideração que os valores calculados são para massas (kg) diferentes, sendo bastante superiores para os casos com cortiça.

O facto das soluções comparadas não apresentarem a mesma espessura de alvenarias, influenciou os valores calculados, levando a casos em que a solução constituída pelo isolante que apresenta valores mais favoráveis, obteve uma pior avaliação de impacte ambiental geral.

É de referir que neste estudo foram considerados valores tabelados para o cálculo dos impactes o que se pode traduzir em valores estimados, podendo ocorrer variações de resultados para diferentes casos de aplicação. Os materiais escolhidos para comparação com a cortiça também foram escassos, não sendo suficientes para classificar a posição da cortiça nos vastos materiais isolantes existentes no mercado, mas desempenharam a sua função na medida em que permitiram a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida e facilitaram a compreensão mais uma vez da importância da escolha dos materiais a utilizar numa construção sustentável e amiga do ambiente.

Quadro 17 – Quadro resumo dos valores de impactes ambientais dos casos e materiais de isolamento em estudo

	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Caso A	3,24E-01	5,68E+01	4,24E-06	1,60E-01	1,12E-02	2,04E-02	7,39E+02	1,93E+02
Caso B	2,73E-01	6,24E+01	2,65E-04	1,28E-01	8,11E-03	1,54E-02	6,22E+02	5,49E+01
Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	4,78E-02	3,01E+00	4,26E-07	2,48E-02	2,09E-03	3,03E-03	1,15E+02	1,25E+02
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	6,54E-02	1,54E+01	2,62E-04	2,45E-02	1,36E-03	1,90E-03	1,48E+02	1,63E+00
Caso C	2,76E-01	5,13E+01	3,66E-06	1,37E-01	9,39E-03	1,76E-02	6,30E+02	1,49E+02
Caso D	2,30E-01	5,36E+01	3,24E-06	1,16E-01	7,41E-03	1,55E-02	5,35E+02	6,16E+01
Regranulado de cortiça expandida	3,38E-02	2,13E+00	3,01E-07	1,75E-02	1,48E-03	2,14E-03	8,16E+01	8,84E+01
Lã de vidro	6,86E-03	7,20E-01	1,03E-07	3,08E-03	2,67E-04	5,66E-04	2,16E+01	1,99E+00

5

CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este estudo permitiu a apresentação da cortiça como material utilizado no sector da construção civil. Foram abordadas as suas características, assim como matérias-primas, métodos de fabrico dos seus derivados e produtos finais a aplicar em soluções construtivas perfeitamente viáveis num conceito de sustentabilidade e preservação de ecossistemas.

A realização deste estudo também proporcionou a sensibilização para uma construção sustentável e ecoeficiente, com preocupações ambientais assim como a evolução destes conceitos ao longo dos anos. O enquadramento da cortiça nestes conceitos tão importantes para o futuro da construção também foi mencionado, apoiando a ideia que a cortiça terá um impacto cada vez maior neste sector.

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida aplicada a materiais foi integrada neste estudo, demonstrando que existem inúmeras ferramentas que permitem a quantificação de impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um material, facilitando uma escolha responsável dos mesmos a utilizar em obra. Nesta dissertação foram considerados quatro casos práticos, dois com cortiça e dois com outro isolamento alternativo, comparando as soluções com o mesmo valor para mesma função (isolamento térmico e isolamento acústico). Numa fase inicial de escolha das soluções, foram calculados valores relevantes à sua função, isto é, para uma solução com cortiça (ICB) e uma solução alternativa (XPS) com função térmica, foram calculados os coeficientes de transmissão térmica (U) e para as restantes soluções, uma solução em cortiça (regranulado expandido) e outra solução alternativa (lã de vidro), como a sua função era de isolamento acústico, foram calculados os correspondentes valores do índice de isolamento sonoro aéreo ou redução sonora (R_w). Após a escolha dos casos em estudo, foi necessário realizar um levantamento dos valores de impacte ambiental e consumos de energia tabelados para cada material constituinte das soluções na fase *cradle-to-gate*. Para a aplicação desses valores aos casos em estudo, todos os materiais foram convertidos à mesma unidade funcional (kg/m^2) verificando-se que a cortiça apresenta uma massa bastante superior em relação aos materiais de isolamento alternativos. Após a realização dos respetivos cálculos, cada valor de categoria ambiental e energia obtido referente a cada solução construtiva e material de isolamento, foi apresentado graficamente e brevemente analisado, concluindo que a cortiça é um bom material para o ambiente, encaixando-se perfeitamente no conceito de construção sustentável e num mercado tão competitivo e evolutivo como o dos materiais utilizados na construção civil.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao longo da realização deste estudo, foram encontradas algumas dificuldades, nomeadamente na recolha de informação referente a casos de utilização da cortiça na construção, pois embora seja um material com inúmeras utilizações nas mais vastas áreas, ainda é relativamente recente no sector da edificação dos dias correntes.

A abordagem sobre a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida também se traduziu numa perspectiva abstrata do desempenho ambiental das soluções em estudo, permitindo a comparação dos valores referentes aos materiais utilizados nos diferentes casos em estudo, com base numa base de dados, facilitando a escolha da possível solução com menos impacto negativo no meio ambiente, mas de difícil compreensão da grandeza de valores. O facto de se apenas contabilizar a fase do ciclo de vida “*cradle-to-gate*”, também é limitativo, visto que não foram consideradas as fases de aplicação do material em obra, manutenção ao longo do tempo de vida nem desmantelamento, que associados a impactes ambientais de transporte nas diferentes fases, permitiriam obter diferentes resultados e conclusões.

Para trabalhos futuros recomenda-se que sejam feitas análises de sensibilidade e de incerteza, de modo a apoiar a veracidade dos valores obtidos. Também seria útil realizar um estudo aprofundado acerca do comportamento do ciclo de vida dos materiais a longo prazo, melhorando e complementando a base de dados existente, fornecendo informação adicional o que otimizará estudos futuros sobre soluções construtivas.

Para uma análise mais detalhada e conclusiva acerca da posição da cortiça na construção sustentável, num estudo futuro, poderão ser incluídos outros materiais de isolamento comercializáveis, outro tipo de soluções construtivas com outra função como revestimento ou isolamento vibrático. Também seria bastante interessante realizar uma avaliação dos custos de ciclo de vida, obtendo valores económicos para cada fase do ciclo de vida de cada material, comparando-os com os da cortiça. A análise também poderia ter sido feita de outra perspectiva, como por exemplo, para os mesmos valores de impactes ambientais, saber quais seriam as condições económicas e técnicas das soluções com cortiça e soluções com materiais alternativos. Quais os valores de coeficiente de transmissão térmica (U) e o valor do índice de isolamento sonoro aéreo (R_w) obtidos para cada solução após esse tipo de estudo, podendo até calcular taxas percentuais da relação destes valores com os impactes ambientais gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2015/09/Montado017.jpg> [Acedido a Novembro 2016].
- [2] A. F. B. Valério, *Materiais para uma construção sustentável: o caso da cortiça*. Dissertação de Mestrado: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014.
- [3] M. C. Gonçalves, F. Margarido. Cortiça. In *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, pág.665-715, IST Press, 2012.
- [4] F. Chiebao. *Manual Materiais de construção e decoração*, 2011.
- [5] Apcor, *#cork*, Boletim estatístico anual de 2015.
- [6] L. Gil, *Cortiça na construção sustentável e energeticamente eficiente*. Chiado Editora, Lisboa, 2015.
- [7] A. M. P. Lopes Dos Reis, *Revestimentos de Pisos em Aglomerado de Cortiça*. Dissertação de Mestrado: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.
- [8] <http://amimporex.com/wp-content/uploads/2016/02/3g-1.jpg> [Acedido em Outubro 2016].
- [9] <http://img.pai.pt/mysite/media/45/14/4/69d1eaac-8b5e-45fb-ab41-dfcd7506fe38.jpg> [Acedido em Outubro 2016].
- [10] <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/aglomerados-compostos/> [Acedido a Janeiro 2017].
- [11] <http://www.thermodynglobal.com/wp-content/uploads/2015/07/CorkRubber.jpg> [Acedido a Novembro 2016].
- [12] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Linoleum_003.jpg [Acedido em Outubro 2016].
- [13] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Linoleum_Querschnitt.jpg/250px-Linoleum_Querschnitt.jpg [Acedido em Outubro 2016]
- [14] <http://www.bcork.amorim.com> [Acedido em Outubro 2016].
- [15] http://www.amorimisolamentos.com/xms/files/FICHA_TECNICA/amorim_isolamentos_ft_cober_tura_inclinada_com_subtelha.pdf [Acedido a Outubro 2016].
- [16] http://www.amorimisolamentos.com/xms/files/FICHA_TECNICA/2014-09/Amorim_Isolamentos_FT_ENCHIMENTO_DE_CAIXA_DE_SOALHO_R02.pdf [Acedido em Outubro 2016].
- [17] <http://www.coeptbrasil.org.br/portal/Publico/apresentarArquivo.aspx?ID=eb6c910e-145e-4f94-9fca-583e948f946b> [Acedido a Novembro 2016]
- [18] <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html> [Acedido a Novembro 2016].
- [19] <http://docplayer.com.br/15895001-Universidade-de-lisboa-instituto-de-geografia-e-ordenamento-do-territorio.html> [Acedido a Novembro 2016].
- [20] http://www1.folha.uol.com.br/folha/especial/2002/riomais10/o_que_e-2.shtml [Acedido a Novembro 2016].

- [21] R. F. M. da Silva Mateus, *Avaliação da Sustentabilidade da Construção, propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*. Dissertação de Doutoramento: Universidade do Minho, 2009.
- [22] <http://www.encyclopedia.com/topic/Vitruvius.aspx> [Acedido em Outubro 2016].
- [23] https://www.parkroyalhotels.com/content/dam/pr/PR%20Pickering/homepage/Photo-gallery/Photo-Gallery_Skygardens_620X340.png/_jcr_content/renditions/original [Acedido em Outubro 2016]
- [24] A. S. M. Nogueira, *A arquitetura e a cortiça como material construtivo*. Dissertação de Mestrado: Universidade Lusíada do Porto, 2015.
- [25] <https://www.apcor.pt/cortica/reciclagem/> [Acedido a Novembro 2016].
- [26] S. S. S. Gouveia, *Análise do Ciclo de Vida de soluções de reabilitação energética de coberturas*. Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [27] L. Bragança, R. Mateus, *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios: Impacte Ambiental de Soluções Construtivas*, Portugal: Publindústria, 2011.
- [28] <http://www.posterus.sk/?p=15718> [Acedido a Novembro 2016].
- [29] G. T. L. Almeida, *Análise de Soluções Construtivas para a verificação de requisitos térmicos e acústicos em edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [30] RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro.
- [31] A. R. P. C. Ferreira, *Soluções Técnicas para isolamento sonoro de edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [32] <http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Aquecimento-e-Climatizacao/Isolamento-da-casa/Isolamento-termico/16361093.aspx> [Acedido a Dezembro 2016].
- [33] <http://orcamentos.eu/precos-de-aglomerado-negro-de-cortica/> [Acedido a Dezembro 2016].
- [34] <http://www.obras360.pt/pt/isol-t%C3%A9rmicos/isolamento-termico/las/16021-painel-de-la-mineral-de-vidro-nao-revestido-glasswool-p0051-detail.html> [Acedido a Dezembro 2016].
- [35] <http://www.revicorck.com/aglomerado/Aglomerado%20-%202015.pdf> [Acedido a Dezembro 2016].
- [36] <http://www.gypsum.com.br/web/pt/produtos/la-de-vidro.htm> [Acedido a Dezembro 2016].
- [37] http://www.preceram.pt/documentos/FT_CE_PRECERAM.pdf [Acedido a Dezembro 2016].